

**FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO**



# **Logística baseada em AGVs**

**Eduardo António da Silva Santos**

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Prof. Doutor António Paulo Gomes Mendes Moreira

Co-orientador: Miguel Armando Migueis Pinto

30 de Julho de 2013



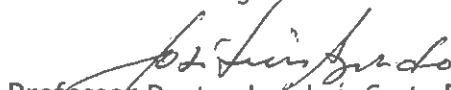
A Dissertação intitulada  
“Logística Baseada em AGVs”

foi aprovada em provas realizadas em 12-07-2013

o júri



Presidente Professor Doutor Paulo José Lopes Machado Portugal  
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores  
da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Professor Doutor José Luís Costa Pinto de Azevedo  
Professor Auxiliar Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática da  
Universidade de Aveiro



Professor Doutor António Paulo Gomes Mendes Moreira  
Professor Associado do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de  
Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projeto) é da sua exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não explicitamente autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros extratos tomados de ou inspirados em trabalhos de outros autores, e demais referências bibliográficas usadas, são corretamente citados.



Autor - Eduardo António da Silva Santos

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto





# Resumo

Os AGVs são cada vez mais utilizados na indústria para transporte de materiais e apoio à produção. A sua flexibilidade e a sua rentabilidade são muito apreciadas em fábricas que necessitam de transportar matérias-primas ou até produtos acabados. Cada vez mais, a logística e a entrega da quantidade necessária de peças para a produção na altura certa e pela ordem correta, têm vindo a ganhar força pois libertam espaço à fábrica. Isto exige um enorme tráfego de transportadoras e empilhadoras. Além de ser uma solução cara devido ao custo dos operadores, é uma solução que traz problemas de segurança associados a velocidades excessivas por parte dos operadores. Paralelamente, essas velocidades excessivas também são uma das causas para problemas de qualidade por danificação de materiais. O uso de AGVs permite uma cadência de ritmo de entrega de produtos mais ou menos fixa, com vantagens associadas ao menor custo e menos problemas de qualidade. O retorno do investimento é conseguido a curto prazo e o facto de existirem menos problemas de qualidade também se traduz em economia das despesas, quer por redução de retrabalhos ou mesmo de peças para a sucata ou lixo.

Esta dissertação do ramo de Automação do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto tem como objetivo o desenvolvimento de um protótipo de um AGV (*Automated Guided Vehicle*) de baixo custo para ser testado e implementado nas linhas de produção da Volkswagen Autoeuropa, dotado de flexibilidade e facilmente reconfigurável e que será responsável pelo transporte de materiais entre postos de trabalho e supermercados de material. A dissertação é realizada parcialmente na FEUP e na Volkswagen Autoeuropa. Na FEUP é realizado o desenvolvimento da maioria da estrutura do AGV, seu *Hardware*, integração entre os diversos sistemas e ainda alguma programação. Após esse período, na Volkswagen Autoeuropa são completadas algumas das características exigidas pela fábrica, tanto ao nível de *Hardware* como na programação do AGV. São analisadas as necessidades nas diferentes linhas de produção e seu funcionamento. Por fim, são realizados vários testes nas diferentes linhas de produção com o objetivo de validar a solução e definir que alterações ao protótipo poderão ser realizadas.



# Abstract

AGVs are more and more used in industry in materials' transport and support production. Their flexibility and profitability are very appreciated in factories that need to transport raw materials or finished products. The delivery of the required quantity of pieces at the right time and right order to production have been gaining strength nowadays releasing space inside the factory. This requires a huge carriers and forklifts traffic. Besides being an expensive solution due to operators cost, it is a solution that brings security problems when they travel fast inside the factory. Besides, these overspeeds are one of the reasons of quality problems by materials damaging. The use of AGVs allows a more or less fixed production rate, with less costs and less quality problems. The return on investment is fulfilled in short term and the fact of having less quality problems also allows cost savings either by reducing reworks or pieces to the garbage.

This dissertation of the Master in Electrical and Computers Engineering of the Faculty of Engineering of the University of Porto aims to the development of a low-cost AGV prototype to be tested and implemented on the production lines of Volkswagen Autoeuropa. It should be flexible and easily reconfigurable and it will be responsible for the transport of materials between manufacturing supermarket and workstations. The dissertation is held partly at FEUP and at Volkswagen Autoeuropa. At FEUP it is performed the development of the majority of the AGV's structure, its Hardware, assembly of all systems and some programming. After this period, there are some features to be completed at Volkswagen Autoeuropa at both AGV's Hardware and Software. The needs of the different production lines and their operation are analysed. Finally, the AGV is tested in different production lines in order to validate the solution and define what changes to the prototype could be made.



# Agradecimentos

A todos aqueles que estiveram presentes durante a realização da minha dissertação.

Aos meus orientadores Prof. Paulo Moreira e Miguel Pinto, pelo apoio e pelas dicas para a realização desta dissertação.

À equipa do laboratório de robótica, em especial ao Sr. José Carlos, Sr. Fernando Guedes e ao Héber Sobreira pela ajuda durante o período em que realizei a minha dissertação na FEUP.

A toda a equipa do Lean Center da Volkswagen Autoeuropa pela forma como fui acolhido e por me fazerem sentir em casa. Um especial agradecimento, ao Fernando Mendes e ao João Leitão pelo apoio durante o desenvolvimento da minha dissertação na Volkswagen Autoeuropa.

À minha namorada por acreditar em mim, pelo apoio em todos os momentos e por ter aguentado mais uma vez a minha ausência.

Agradeço ainda à minha família pelas palavras de incentivo e por me terem dado a possibilidade de continuar a minha formação.

Eduardo António da Silva Santos



*"If you find a path with no obstacles, it probably doesn't lead anywhere."*

Frank A. Clark





# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Enquadramento e Motivação . . . . .	1
1.2	Objetivos . . . . .	1
1.3	Estrutura do documento . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Estado da arte</b>	<b>5</b>
2.1	AGV . . . . .	5
2.1.1	Vantagens . . . . .	5
2.1.2	Métodos de Navegação . . . . .	6
2.1.2.1	Trajетórias Fixas . . . . .	6
2.1.2.2	Trajетórias Dinâmicas . . . . .	7
2.1.3	Controlo de Tração . . . . .	8
2.1.4	Segurança . . . . .	9
2.2	AGC . . . . .	9
2.2.1	Configurações de trajetos . . . . .	9
2.2.1.1	<i>Single Line / Back and Forth</i> . . . . .	10
2.2.1.2	<i>Single Loop</i> . . . . .	10
2.2.1.3	<i>Double Loop</i> . . . . .	10
2.2.1.4	<i>Multiple Loops</i> . . . . .	11
2.2.2	Estudo de Mercado . . . . .	11
2.2.2.1	MCAT . . . . .	11
2.2.2.2	AGV-A32 EX . . . . .	15
2.2.3	Constituição Geral de um AGC . . . . .	16
2.2.4	Sensor de Obstáculos . . . . .	17
<b>3</b>	<b>AGVs na Volkswagen Autoeuropa</b>	<b>19</b>
3.1	Introdução . . . . .	19
3.2	Rotas existentes na Volkswagen Autoeuropa . . . . .	21
3.2.1	Portas . . . . .	21
3.2.1.1	Modo de funcionamento . . . . .	21
3.2.1.2	Testes . . . . .	22
3.2.2	<i>Spoilers</i> . . . . .	22
3.2.2.1	Modo de funcionamento . . . . .	22
3.2.2.2	Testes . . . . .	22
3.2.2.3	Possibilidade de melhoria . . . . .	23
3.2.3	Baterias . . . . .	26
3.2.3.1	Modo de funcionamento . . . . .	26
3.2.3.2	Testes . . . . .	26

3.2.4	Tirantes e Escapes . . . . .	26
3.2.4.1	Modo de funcionamento . . . . .	26
3.2.4.2	Testes . . . . .	27
3.2.5	Motores . . . . .	28
3.2.5.1	Modo de funcionamento . . . . .	28
3.2.5.2	Testes . . . . .	29
3.2.6	Resumo . . . . .	29
3.3	Estandarização de AGVs . . . . .	29
<b>4</b>	<b>Hardware do AGV</b>	<b>33</b>
4.1	Introdução . . . . .	33
4.2	Caixa de Controlo/Processamento . . . . .	34
4.3	Caixa de Comando/Quadro Elétrico . . . . .	35
4.3.1	Constituição do quadro elétrico . . . . .	35
4.3.2	Esquemas elétricos . . . . .	38
4.3.2.1	Circuito de Potência . . . . .	38
4.3.2.2	Circuito do Relé de Segurança . . . . .	38
4.3.2.3	Circuito de Comando . . . . .	40
4.3.2.4	Circuito de Carga das baterias . . . . .	41
4.4	Outros equipamentos . . . . .	41
4.4.1	Sensor de Obstáculos . . . . .	41
4.4.2	Sensor de fita magnética . . . . .	42
4.4.3	Sistema de tração . . . . .	43
4.4.3.1	Motor de Tração . . . . .	44
4.4.3.2	Motor de Direção . . . . .	44
4.4.4	Pirilampo . . . . .	44
4.4.5	Besouro . . . . .	46
4.4.6	Para-choques . . . . .	46
4.4.7	Baterias . . . . .	47
4.4.8	Controlo Remoto . . . . .	48
4.5	Testes de robustez das caraterísticas do AGV . . . . .	49
4.5.1	Máxima carga . . . . .	49
4.5.2	Duração das baterias . . . . .	49
<b>5</b>	<b>Software do AGV</b>	<b>51</b>
5.1	Introdução . . . . .	51
5.2	Interface de <i>Debug</i> . . . . .	54
5.2.1	Seguimento de fita magnética - Controlo em Velocidade . . . . .	54
5.2.2	Marcador de <i>Stop</i> e arranque por botão de <i>Start</i> . . . . .	56
5.3	<i>Firmware</i> final do AGV . . . . .	57
5.3.1	Introdução . . . . .	57
5.3.2	Passagem da Interface de <i>Debug</i> para o <i>Firmware</i> . . . . .	57
5.3.3	Deteção de marcadores da mesma polaridade da fita magnética . . . . .	58
5.3.4	Máquina de Estados . . . . .	60
5.3.4.1	Estado Parado . . . . .	60
5.3.4.2	Estado Rápido . . . . .	60
5.3.4.3	Estado Lento . . . . .	62
5.3.4.4	Estado Transitório . . . . .	62
5.3.4.5	Estado Caminho da Direita . . . . .	63

5.3.4.6	Estado Parado por Laser . . . . .	63
5.3.4.7	Estado Parado por Comando ou Botão de <i>Stop</i> . . . . .	64
<b>6</b>	<b>Conclusões e Trabalho Futuro</b>	<b>65</b>
	<b>Referências</b>	<b>67</b>



# Lista de Figuras

2.1	Sistema Filoguiado . . . . .	6
2.2	Sistema de Faixas . . . . .	7
2.3	Sistema de Triangulação Laser . . . . .	7
2.4	Sistema de Marcadores . . . . .	8
2.5	Tipos de controlo de direção . . . . .	8
2.6	<i>Single Line / Back and Forth</i> . . . . .	10
2.7	<i>Single Loop</i> . . . . .	10
2.8	<i>Double Loop</i> . . . . .	11
2.9	<i>Multiple Loops</i> . . . . .	11
2.10	Composição da fita magnética . . . . .	12
2.11	Exemplo de instruções possíveis . . . . .	13
2.12	Rotas simples . . . . .	13
2.13	Rotas complexas . . . . .	14
2.14	Instruções possíveis dos marcadores . . . . .	14
2.15	Comandos do AGV A-32 da Creform . . . . .	15
2.16	Comando de <i>Right-Edge-Aligned</i> . . . . .	16
2.17	Componentes constituintes de uma solução geral de um AGC . . . . .	16
3.1	Rota do AGV dos <i>spoilers</i> . . . . .	23
3.2	Rota proposta para o AGV dos <i>spoilers</i> . . . . .	24
3.3	Rota do AGV das baterias . . . . .	25
3.4	Rota do AGV dos tirantes e escapes . . . . .	27
3.5	Rota do AGV dos motores . . . . .	28
3.6	Código de marcadores . . . . .	30
3.7	Marcador para indicar para seguir o caminho da direita na próxima bifurcação . . . . .	31
4.1	Constituição física do AGV . . . . .	34
4.2	Fotografia da caixa de controlo/processamento . . . . .	35
4.3	Alterações do Quadro Elétrico . . . . .	36
4.4	Interior do quadro elétrico . . . . .	36
4.5	Vista de cima do exterior do quadro elétrico do AGV - Botoneira . . . . .	37
4.6	Vistas laterais do quadro elétrico do AGV . . . . .	37
4.7	Esquema elétrico do circuito de potência . . . . .	38
4.8	Esquema elétrico do circuito do relé de segurança . . . . .	39
4.9	Esquema elétrico do circuito de comando - Sinalização luminosa dos botões <i>Go</i> e <i>Stop</i> . . . . .	40
4.10	Esquema elétrico do circuito de comando - Ligação da atuação dos botões de pressão ao processamento . . . . .	40

4.11	Esquema elétrico do circuito de carregamento . . . . .	41
4.12	Sensor de obstáculos utilizado . . . . .	41
4.13	Sensor de fita magnética utilizado . . . . .	42
4.14	Sistema de tração - visto de trás . . . . .	43
4.15	Sistema de tração - vista de lado . . . . .	44
4.16	Integração do Sistema de tração no AGV - vista de baixo . . . . .	45
4.17	Pirilampo utilizado . . . . .	45
4.18	Besouro utilizado . . . . .	46
4.19	Fim de curso do para-choques . . . . .	46
4.20	Molas do para-choques . . . . .	47
4.21	Baterias e suporte para as baterias . . . . .	48
4.22	Controlo remoto . . . . .	48
4.23	Modo de operação dos relés do controlo remoto . . . . .	49
5.1	Interface da aplicação de comunicação . . . . .	51
5.2	Aplicação da Interface de <i>Debug</i> . . . . .	52
5.3	<i>Logger</i> da Interface de <i>Debug</i> . . . . .	53
5.4	Passagem de parâmetros para o seguimento da fita magnética . . . . .	54
5.5	Algoritmo do controlador PD - controlo em velocidade angular . . . . .	55
5.6	Máquina de Estados para o botão de <i>Start</i> e paragem no marcador de <i>Stop</i> . . . . .	56
5.7	Programador da Atmel AVRISPMkII . . . . .	57
5.8	Deteção do marcador da mesma polaridade da fita de orientação . . . . .	59
5.9	Algoritmo de deteção de marcador da mesma polaridade da fita de orientação . . . . .	59
5.10	Máquina de Estados simplificada do funcionamento normal do AGV . . . . .	61
5.11	Máquina de Estados do funcionamento das paragens do AGV . . . . .	62

# Lista de Tabelas

2.1	Tabela resumo das características de sensores de obstáculos . . . . .	17
3.1	Tabela resumo das características dos diferentes AGVs usados nas diferentes linhas de produção . . . . .	29
5.1	Tabela dos ganhos obtidos para o controlador PD responsável pelo seguimento da fita magnética . . . . .	56





# Abreviaturas e Símbolos

AGC	Automated Guided Cart
AGV	Automated Guided Vehicle
AM	Amplitude Modulation
IDE	Integrated Development Environment
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
INESC TEC	Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores do Porto - Tecnologia E Ciência
PCB	Printed Circuit Board
PWM	Pulse-Width Modulation
RPM	Rotações Por Minuto
ROI	Return On Investment



# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Enquadramento e Motivação

A logística atual das linhas de produção baseia-se frequentemente em tapetes e outros sistemas de transporte cuja configuração é extremamente rígida. Qualquer alteração no fluxo de materiais que implique a sua modificação tem custos associados e tempos de paragem extremamente elevados. Este facto torna inviável ou muito dispendiosa a reconfiguração da linha de produção.

Uma alternativa utilizada é o recurso a empilhadoras e motas transportadoras. Estas dotam o transporte de materiais de alguma flexibilidade. Contudo, são soluções que necessitam de trabalhadores qualificados para as conduzir. O acréscimo de custos com pessoal tem como consequência a diminuição dos índices de produtividade. A produtividade tende a ser um dos indicadores mais utilizados pelas empresas. Como tal, há uma constante procura de alternativas mais viáveis.

Com a introdução dos veículos móveis auto-guiados (AGV) ganha-se uma flexibilidade extremamente importante com benefícios evidentes para a linha de produção. Um exemplo desta utilização na indústria é a empresa Highmark Vision Group que produz óculos e lentes e que adotou um AGV da Creform [1]. Segundo o artigo, o diretor de Qualidade das Operações da Highmark Vision Group, Rick Lee, enaltece a facilidade da mudança de rotas. Além disso, Rick Lee afirma que o AGV era melhor que o antigo processo onde os operadores puxavam os carrinhos, pois, às vezes, estes descuidavam-se, deixando cair caixas ao chão o que resultava em desperdício de dinheiro. Por fim, Rick Lee também constatou como fator positivo o facto de manter as pessoas nas suas estações de trabalho, uma vez que quando estas estavam fora da sua estação de produção a transportar produtos, não podiam estar a produzir e esse facto constituía uma perda de produção. A título de curiosidade, ele afirmou que houve o Retorno do Investimento (ROI) em 6 meses, demonstrando as mais-valias do uso deste sistema, tanto a nível financeiro como de produtividade.

### 1.2 Objetivos

A presente dissertação tem como objetivo o desenvolvimento de um veículo guiado automaticamente - *Automated Guided Vehicle* (AGV) de baixo custo dotado de flexibilidade e facilmente

reconfigurável. Este será destinado às linhas de produção da Volkswagen Autoeuropa para realizar o transporte de materiais entre os supermercados e os postos de trabalho. Deverá ser capaz de evitar colisões com obstáculos e utilizará fita magnética para navegar. Está também prevista a utilização de códigos de marcadores para dar diferentes instruções ao AGV, como parar, escolher um caminho ou mudar de velocidade.

A dissertação irá ser desenvolvida parcialmente na FEUP e na Volkswagen Autoeuropa.

Na FEUP será realizado o desenvolvimento da maioria da estrutura do AGV, seu *Hardware*, integração entre os diversos sistemas e ainda alguma da programação.

Na Volkswagen Autoeuropa completar-se-á o desenvolvimento do AGV, tanto ao nível de *Hardware* como na programação do AGV. Será analisado o funcionamento das diferentes linhas de produção e as suas necessidades. Por fim, serão realizados vários testes nas diferentes linhas de produção com o objetivo de validar a solução e definir que alterações ao protótipo poderão ser realizadas.

Atualmente, a Volkswagen Autoeuropa dispõe, no processo de produção, de um sistema composto por AGVs. Contudo, pretende melhorar e alargar este sistema através de AGVs de baixo custo que possam disponibilizar mais funcionalidades aos já existentes. Para atingir este objetivo será necessário prospetar as alternativas existentes no mercado e verificar que alterações permitem veículos mais baratos e, simultaneamente, com mais funções.

A Volkswagen Autoeuropa pretende ainda que a alternativa obtida seja implementada numa das suas linhas de produção. Paralelamente, serão realizados vários testes nas diferentes linhas existentes e alguns testes para garantir a durabilidade do AGV desenvolvido.

### 1.3 Estrutura do documento

Este documento encontra-se dividido em 6 capítulos.

No capítulo 1 é introduzido o problema, nomeadamente, um breve enquadramento e motivação, os objetivos propostos e qual será a estrutura do documento.

O Estado da Arte referente a soluções existentes de AGVs de baixo custo para logística é apresentado no capítulo 2. Este capítulo é dividido em 2 secções. Na primeira é explorado o conceito geral de AGVs, explanando as mais importantes configurações existentes de AGVs. A segunda secção foca-se concretamente em AGVs de baixo custo, também denominados de AGCs por muitos fabricantes, onde são descritas algumas das soluções para este nicho de mercado.

O capítulo 3 apresenta o problema dos AGVs na Volkswagen Autoeuropa, identificando as diversas rotas de AGVs existentes e o que é pretendido como norma de standardização pela fábrica.

O capítulo 4 detalha todo o equipamento físico existente no AGV desenvolvido. Refere a constituição da caixa do processamento e de todas as placas nela contida. Apresenta ainda as ligações e todo o funcionamento do quadro elétrico. Na secção seguinte, enumera todos os outros equipamentos constituintes do AGV, tais como o sensor de obstáculos, o sensor de leitura de fita

magnética, a constituição do sistema de tração, o pirilampo, o *buzzer*, a constituição do para-choques, as baterias e o controlo remoto. Por fim, na última secção são incluídas descrições de alguns dos testes realizados na Volkswagen Autoeuropa para testar o *Hardware* do AGV.

Todo o *software* existente no AGV desenvolvido é apresentado no capítulo 5. É introduzida a interface gráfica utilizada para realizar o *debug* do funcionamento correto do AGV. Posteriormente, são explanados os algoritmos e a máquina de estados utilizados na conceção do *Firmware*.

Por fim, no capítulo 6 são apresentadas as conclusões e o trabalho futuro que é possível ser realizado para melhorar o protótipo desenvolvido.



## Capítulo 2

# Estado da arte

### 2.1 AGV

Um AGV é um veículo móvel autoguiado utilizado em ambientes que requerem transporte de produtos na produção e em armazéns. É programado para transportar materiais através de rotas definidas de recolha e entrega de produtos dentro de instalações de manufatura e de distribuição. Surgem como uma alternativa à solução clássica de ter empilhadoras e motoristas de empilhadoras a transportarem as matérias-primas e produtos no *shop floor* da fábrica.

#### 2.1.1 Vantagens

As vantagens do uso de sistemas compostos por AGVs são:

- **Flexibilidade** — os AGVs podem ser instalados nas fábricas com poucas ou nenhuma modificação na estrutura do *shop floor*. Além disso, estes permitem adaptar-se rápida e facilmente a mudanças do ambiente de operação e também a mudanças da sequência do transporte dos materiais. Por fim, os AGVs permitem ser customizados, facilitando a adaptação destes às funções particulares de uma determinada fábrica;
- **Eficiência** — O recurso a sistemas de AGVs permite que as operações fiquem mais eficientes. Dependendo da tecnologia envolvida no desenvolvimento do AGV, poderá existir monitorização e controlo dos AGVs o que possibilita saber onde estão os produtos a qualquer hora e, em caso de necessidade de recolher produtos para a manufatura ou para entregas, o sistema nunca se perde. Por outro lado, nos casos onde não existe localização do AGV, este andará sempre numa rota fixa permitindo saber onde se encontra com alguma facilidade;
- **Redução de custos** — Os AGVs reduzem os custos operacionais, dado que podem trabalhar continuamente sem interrupções durante todo o dia com pouca ou nenhuma supervisão.

## 2.1.2 Métodos de Navegação

### 2.1.2.1 Trajetórias Fixas

#### Sistema Filoguiado

O sistema filoguiado, ilustrado em 2.1a [2], consiste na definição do percurso do AGV por intermédio de condutores elétricos embutidos no chão. Como se pode observar na figura 2.1b, estes criam um campo magnético, devido à corrente elétrica sinusoidal que os atravessa, campo esse que é detetado por uma antena colocada no AGV [3, 4].

É um sistema não flexível pois não permite que as rotas possam ser alteradas facilmente. Além disso, para realizar alterações é necessário implantar, novamente, condutores no chão e tal implica maiores custos. Por isso, não é usado em indústrias que necessitem de reconfigurar o *layout* com frequência.

Porém, é amplamente usado devido à sua simplicidade e robustez [5, 6].

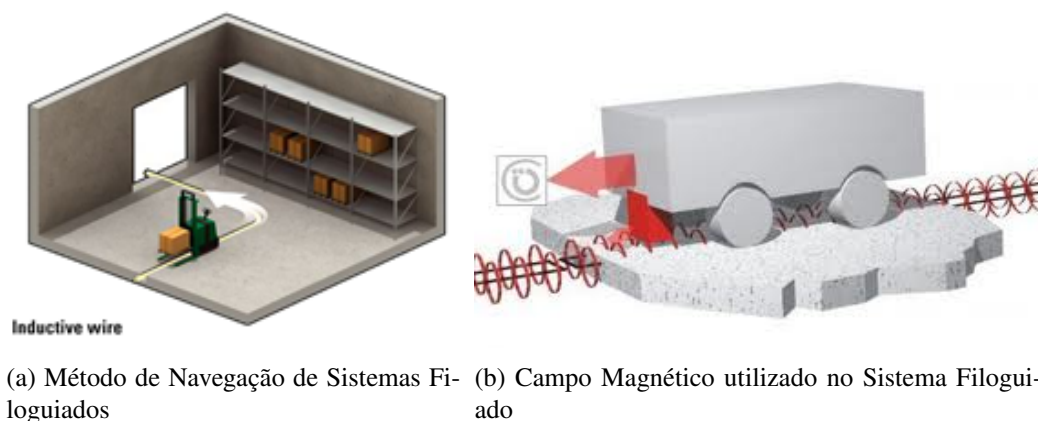


Figura 2.1: Sistema Filoguiado

#### Sistema de Faixas

Também é um método de navegação de trajetória fixa mas, em vez do uso de fios elétricos embutidos no chão, a trajetória é definida por uma fita magnética colada ao chão ou por linhas pintadas, como é representado na figura 2.2 [2]. Funciona de forma semelhante ao anterior método com um sensor apropriado a detetar as faixas.

A principal vantagem deste sistema sobre o anterior é que as rotas podem ser trocadas fácil e rapidamente, com muito menos custos associados e em menos tempo. Isto permite que seja um método mais flexível.

A principal desvantagem é que se a fita ficar danificada ou suja com a movimentação de pessoas ou objetos sobre ela, o AGV pode deixar de a identificar e, consequentemente, o AGV não conseguirá continuar o percurso [5, 6, 3]. É recomendado para AGVs de baixo custo e de pequenas dimensões, também denominados de AGCs (*Automated Guided Cart*).





Figura 2.2: Sistema de Faixas

### 2.1.2.2 Trajetórias Dinâmicas

#### Sistema de Trilateração e Triangulação Laser

Neste sistema são colocados postes ou faróis refletores em colunas, paredes e noutros locais altos de fácil acesso ao laser usado pelo AGV, tal como é ilustrado na figura 2.3 [2]. O laser executa um varrimento rotativo à procura desses postes, que são usados como pontos de referência para a localização do veículo. É necessário detetar pelo menos 3 desses faróis para ser capaz de obter a sua localização. Para respeitar esta condição é necessário que haja um bom planeamento da disposição dos postes. Com esta condição cumprida, o AGV nunca se perde. A área é mapeada e guardada na memória do AGV.

É a forma de navegação mais fiável, segura e que garante maior precisão na posição do veículo. É também a solução com maior flexibilidade. Contudo, é também a solução mais cara [5, 6, 3].

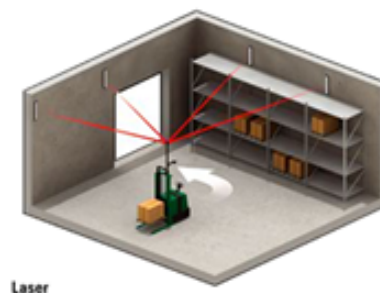


Figura 2.3: Sistema de Triangulação Laser

#### Sistema de Marcadores

Esta solução consiste na marcação no chão da fábrica de pequenos discos magnéticos espaçados entre si, como se pode observar na figura 2.4 [2]. No caso de marcadores magnéticos mais simples, não é possível aferir a posição absoluta do AGV. Contudo, é também possível guardar, previamente, as coordenadas dos marcadores numa base de dados fornecendo informação ao AGV da sua localização aquando da passagem deste por um marcador. Os marcadores poderão ainda

informar a trajetória seguinte de forma a direcioná-lo para o próximo marcador pretendido. Caso o AGV se desvie da trajetória idealizada, por acumulação de erros, ele não irá encontrar o próximo marcador. Como consequência, o AGV ficará perdido. Por isso é que esta solução, normalmente, é usada em conjunto com um giroscópio que analisa as variações de direção.



Figura 2.4: Sistema de Marcadores

É, pois, uma solução bastante flexível permitindo que os caminhos sejam alterados muito fácil e rapidamente. Os custos são mais elevados do que a solução da fita magnética. Contudo, é a solução de trajetórias dinâmicas mais barata [5, 6, 3].

### 2.1.3 Controlo de Tração

As opções de controlo de direção mais usadas em AGVs podem ser visualizadas na figura 2.5.

Na configuração do lado esquerdo, o AGV é composto por 2 rodas de tração e direção, uma à frente e outra atrás com movimento em qualquer direção ( $360^\circ$ ). Dispõe ainda de duas rodas livres de lado. Na configuração do meio é apresentada a configuração de movimento diferencial onde as rodas estão lado a lado. A configuração do lado direito ilustra a configuração unidirecional que é composta por uma roda dianteira de tração e direção que roda sobre si própria. É chamado de controlo de tração triciclo pois contém um eixo traseiro fixo composto por duas rodas fixas[5].



Figura 2.5: Tipos de controlo de direção

### 2.1.4 Segurança

Para garantir a integridade do AGV e do meio envolvente (pessoas, produtos que transportam e máquinas), os AGVs dispõem de dispositivos de segurança. Os AGVs são construídos segundo a Norma Europeia para segurança de veículos autónomos (EN1525 - *Driverless industrial trucks and their systems*).

- **Deteção de colisões** — Os AGVs possuem sensores de obstáculos que detetam objetos no seu campo de alcance e calculam a distância até estes. O AGV irá reduzir a velocidade ou até parar para prevenir colisões. Para além disso, podem usar para-choques que quando acionados garantem a paragem instantânea do AGV em caso de o sensor de obstáculos não ter atuado;
- **Sinal Audio / Visual** — Os AGVs são equipados com um conjunto de dispositivos de sinalização, tais como sinais de luzes piscando ou alertas sonoros que indicam o estado do AGV ou avisam os trabalhadores da sua presença;
- **Controlo Manual** — Os AGVs dispõem da possibilidade de controlo manual e de botões de emergência para a paragem instantânea do AGV.

## 2.2 AGC

Em muitas referências de fabricantes surgem associados outros acrónimos relacionados com o AGV. LGV (*Laser Guided Vehicles*), SGV (*Self Guided Vehicles*) e AGC (*Automated Guided Carts*) são alguns exemplos. A designação de AGC deve-se ao seu pequeno tamanho, baixo custo e pouco peso quando comparado com os outros AGV.

Os AGCs<sup>1</sup> são veículos autónomos leves com a função de transportar materiais dentro de uma fábrica. Estes utilizam fita magnética e sistemas óticos para se guiarem e contêm sistemas para evitar colisões.

São usados em muitas indústrias diferentes desde a química, farmacêutica, alimentar, manufatura, transporte e armazenamento ou automóvel.

### 2.2.1 Configurações de trajetos

Existem diferentes configurações possíveis para sistemas que utilizem AGVs. As configurações são escolhidas e usadas em função do tipo de operações a realizar com estes, das condições das instalações e a localização das mesmas. A escolha de uma configuração vai influenciar na escolha do tipo de AGV. Existem configurações mais adequadas a determinados tipos de AGVs e, sendo estes modulares, também podem ser adaptados e construídos para melhor servir o trajeto delineado.

---

<sup>1</sup>De agora em diante, não existirá diferença entre AGC e AGV. Qualquer referência a AGV deve ser entendida como um AGV de baixo custo, leve e pequeno, ou seja, um AGC.

As configurações a seguir apresentadas são as mais comuns. Contudo, devido a uma das principais características do AGV, a flexibilidade, é possível adaptar as configurações e criar uma infinidade de configurações novas que se adequam às situações pretendidas [7, 8].

### 2.2.1.1 *Single Line / Back and Forth*

É o método mais simples, pois o movimento é feito apenas em linha reta. Pode ser visualizado na figura 2.6 [8]. O AGV necessita de poder andar para a frente e para trás. Só pode haver um AGV em cada linha. O espaço necessário é reduzido. A localização das estações pode ser ao longo da reta e nas extremidades da mesma.



Figura 2.6: *Single Line / Back and Forth*

### 2.2.1.2 *Single Loop*

Como se pode ver na figura 2.7 [8], permite utilização de vários AGVs em simultâneo. Estes apenas andam para a frente num circuito fechado sempre à volta das estações. Elevada densidade de entrega.

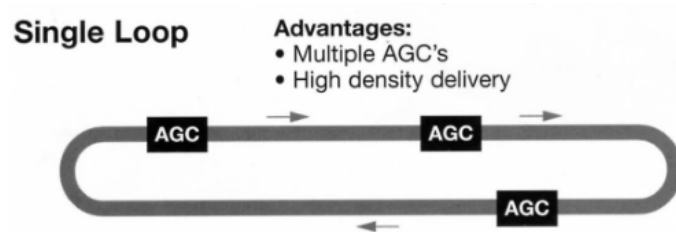
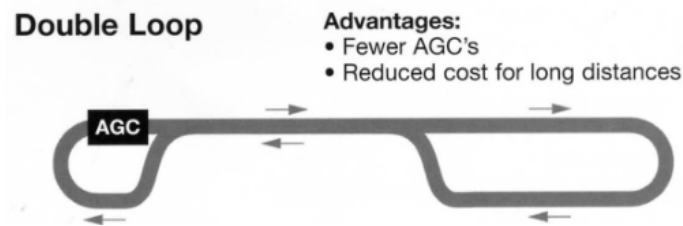


Figura 2.7: *Single Loop*

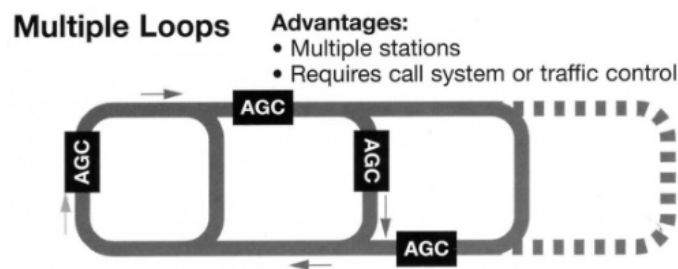
### 2.2.1.3 *Double Loop*

Semelhante ao anterior. Entre *loops* existe um troço comum. Esta solução permite que o custo da utilização de fita magnética seja reduzido e é ideal para distâncias grandes. Porém, permite menor número de AGVs em simultâneo. Um exemplo da sua rota pode ser visto na figura 2.8 [8].

Figura 2.8: *Double Loop*

#### 2.2.1.4 Multiple Loops

Solução composta por vários *loops*. Permite criar imensas bifurcações e responder a sistemas que exijam muitas estações. Requer controlo de tráfego e memorização de estações. A figura 2.9 [8] pretende demonstrar este tipo de rota.

Figura 2.9: *Multiple Loops*

### 2.2.2 Estudo de Mercado

De seguida vão ser apresentadas algumas soluções existentes no mercado dos AGVs de baixo custo (ou AGCs). Foram consideradas duas soluções neste estudo. A primeira é o MCAT, desenvolvido pela empresa Meiden. É uma solução interessante com elevada capacidade de configurações possíveis, nomeadamente no que toca ao número de instruções do código de marcadores. A segunda é o AGV A-32 EX, desenvolvido pela Creform. Esta é a solução adotada pela Volkswagen Autoeuropa nas suas linhas de produção devido à sua simplicidade de funcionamento e número de instruções possíveis reduzidas.

#### 2.2.2.1 MCAT

MCAT é um AGV da empresa Meiden que significa Meiden CArT KiT.

O MCAT orienta-se através de fita magnética e pode transportar até 700 kg de carga, movendo-se para a frente e para trás.

É modular, funcionando com a adição de vários *kits* consoante as necessidades específicas. O *Kit* básico é composto por uma unidade de controlo, uma unidade de tração e uma botoneira

de operação. Podem ser acrescentados ao MCAT Baterias, Buzina, Para-choques, Sensores de Obstáculos e Torre Luminosa.

Os *kits* básicos permitem transportar até 250/500 kg e atingir velocidades de 30/60 m/min. São alimentados a 24 VDC, movendo-se apenas para a frente e orientam-se por meio de fita magnética. Conseguem subir inclinações de 2% e de 3% com carga máxima e com carga a 70% do máximo, respetivamente.

O MCAT usa um sistema de tração de duas rodas. Neste sistema de direção, o AGV é guiado por uma fita magnética que se encontra no meio de ambas as rodas para que a fita magnética não seja danificada com fricção desnecessária. Quando o AGV viaja numa linha reta, os motores DC estão sincronizados e quando o AGV executa uma curva, o motor DC interior desacelera.

É possível usar 2 unidades de tração. Com 2 *Drives*, as cargas máximas aumentam para 350/700kg e permite ao AGV mover-se para a frente e em marcha-atrás.

Com 1 *Drive Unit* também é possível realizar marcha-atrás desde que seja apenas em linha reta e 2/3 abaixo da velocidade máxima.

A utilização de 2 Unidades de Tração permite curvas mais suaves, sendo que cada *Drive* segue a linha independentemente, permitindo uma viagem mais estável [9].

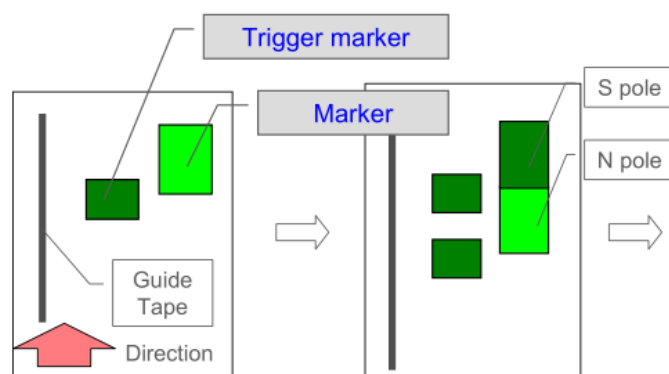


Figura 2.10: Composição da fita magnética

O MCAT é conduzido por intermédio de uma fita magnética no chão. Esta é composta por (ver figura 2.10 [9]):

- **Fita de orientação** — É utilizada fita magnética contínua de polo norte para indicar a orientação e a trajetória a seguir;
- **Trigger Marker** — Despoletadores de marcadores alertam que um marcador de fita magnética irá aparecer. Este é composto por um pedaço de fita magnética de polo sul;
- **Markers** — Usados como sinais de comando. Para isso são colocados pedaços de fita magnética de polo norte e/ou polo sul. Através das combinações de marcadores é possível, por exemplo, mudar a velocidade, parar ou virar.

As combinações de marcadores vão permitir definir a tarefa a executar.

Face às necessidades é possível instalar caixas de comando para configurar percursos mais complicados e com necessidade de memorizar estações. O standard vem sem essa caixa de comando. Assim, é possível utilizar comandos de paragem, mudanças de velocidade e manobras simples. Na figura 2.11 [9], é possível ver as combinações possíveis de marcadores para realizar essas tarefas simples.

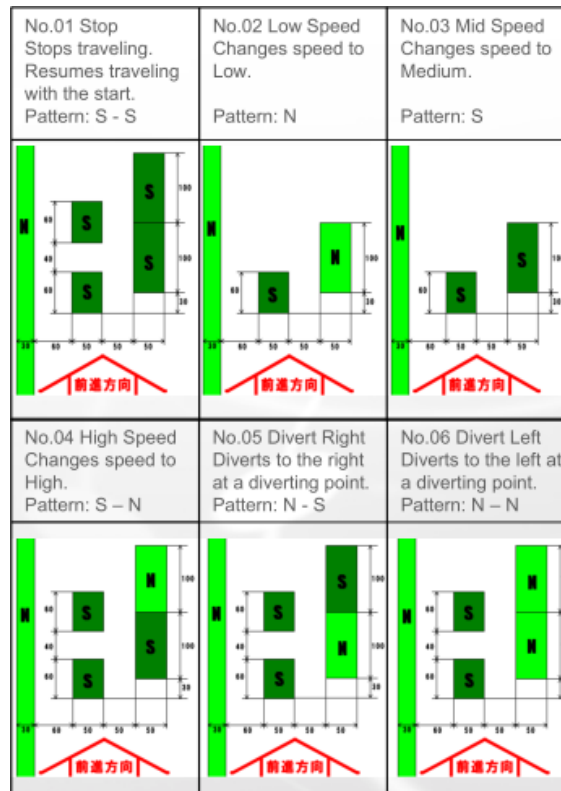


Figura 2.11: Exemplo de instruções possíveis

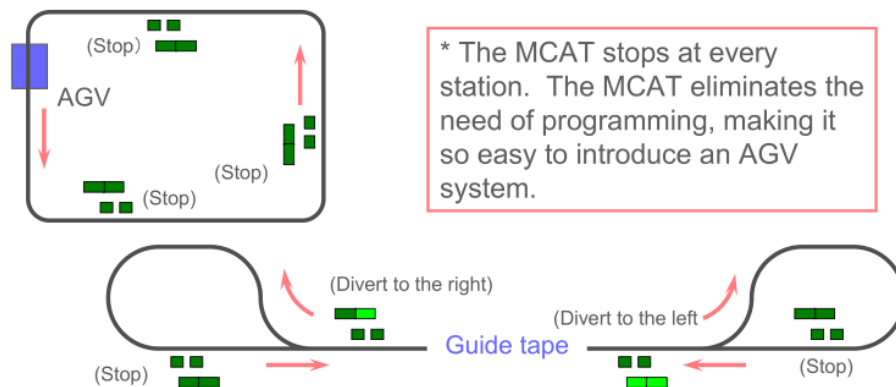


Figura 2.12: Rotas simples

Estes podem ser usados para definição de rotas simples como a da figura 2.12 [9].

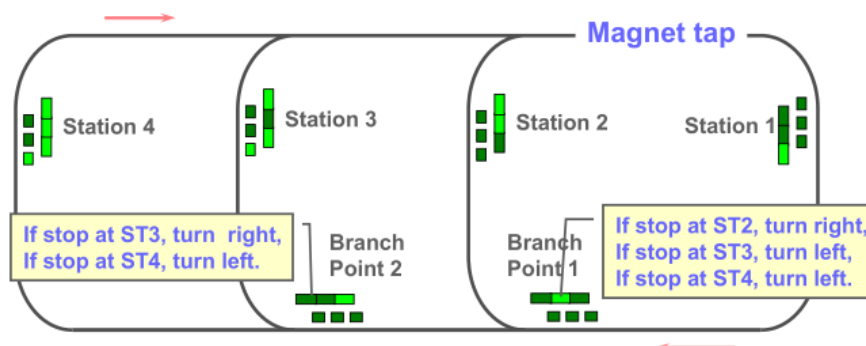


Figura 2.13: Rotas complexas

No.	Pattern				Comnd	Details
01	S	S	-	-	Stop	Stops traveling. Resumes with start.
02	N	-	-	-	Sp Low	Changes speed to Low
03	S	-	-	-	Sp Mid	Changes speed to Medium
04	S	N	-	-	Sp High	Changes speed to High
05	N	S	-	-	D Right	Diverts to the right at a diverting point
06	N	N	-	-	D Left	Diverts to the left at a diverting point
07	S	S	S	-	ST Stop	Shows 'Stop at all stations'
08	S	S	N	-	ST1	Shows 'Stop + station numbers,' when fitted with an optional setting and set to stop at any designated stations. Resumes traveling with start.
09	S	N	N	-	ST2	
10	N	S	N	-	ST3	
11	N	N	N	-	ST4	
12	S	S	S	N	ST5	
13	S	S	N	N	ST6	
14	S	N	S	N	ST7	
15	S	N	N	N	ST8	
16	S	N	S	-	Divert1	Shows a particular diverting point with that number, and the direction to take at that point.
17	N	S	S	-	Divert2	
18	N	N	S	-	Divert3	
19	S	S	S	S	Divert4	
20	S	S	N	S	Divert5	
21	S	N	S	S	Divert6	
22	S	N	N	S	Divert7	

Figura 2.14: Instruções possíveis dos marcadores

O MCAT utiliza uma aplicação de *software* onde é possível configurar as definições das estações e de outros parâmetros do MCAT.



Com a instalação da caixa de comando do tipo A é possível definir até 8 estações e 7 manobras de diversão<sup>2</sup>. É possível, também, definir quais as estações onde o AGV parará. Possibilita ainda que sejam tomadas decisões nas bifurcações consoante qual seja a estação desejada.

Este controlo é mais avançado, permitindo que sejam criadas rotas mais complexas como a da figura 2.13 [9], onde são definidas 4 estações e 2 manobras de diversão.

A codificação completa com os 22 comandos possíveis pode ser vista na figura 2.14 [9].

### 2.2.2.2 AGV-A32 EX

O AGV-A32 EX é um produto pertencente à empresa Creform. Tal como o MCAT, o A32 navega recorrendo a fita magnética, movendo-se apenas para a frente com 2 velocidades definidas - velocidade baixa de 4 m/min e velocidade máxima de 24 m/min. Pode transportar até 350 kg de carga, sendo que para uma inclinação de até 3%, a carga total é de 200 kg. Utiliza uma bateria de 12 VDC. Este AGV é uma das soluções usadas, atualmente, na Volkswagen Autoeuropa.

No caso do A32 se desviar da fita, da tensão na bateria ser baixa ou da corrente ser excessiva no motor, ele dispõe de circuitos de segurança de forma a parar.

Como aparelhos de segurança dispõe de um sensor de obstáculos e um para-choques. Dispõe ainda de sinalização de aviso audio e visual, nomeadamente, uma sirene e um sinal luminoso [10].

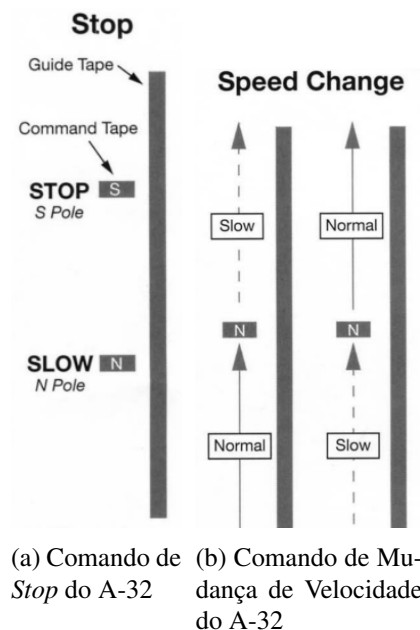


Figura 2.15: Comandos do AGV A-32 da Creform

O A32 apresenta um conjunto de instruções possíveis com apenas 3 comandos dados pelos marcadores de fita magnética: comando de *Stop* (figura 2.15a), comando de mudança de velocidade (figura 2.15b) e comando de *Right-Edge-Aligned* (figura 2.16) [8].

<sup>2</sup>Manobras de diversão são instruções especiais para o AGV executar, tais como virar à direita ou virar à esquerda na próxima bifurcação

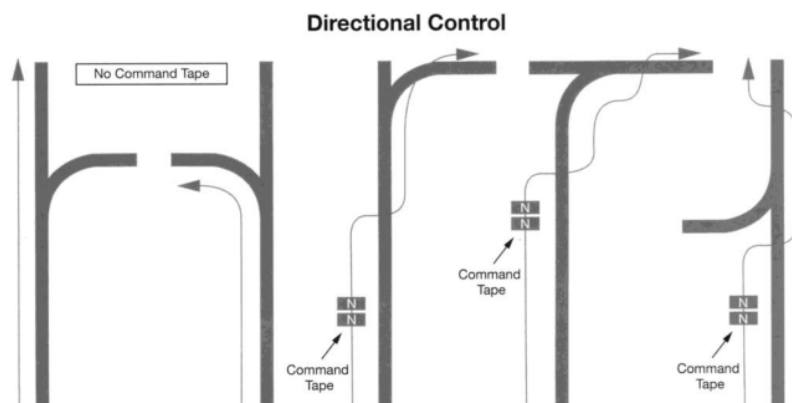


Figura 2.16: Comando de *Right-Edge-Aligned*

Para o comando de *Stop* ser mais eficiente e mais preciso, este deve ser precedido do comando de mudança de velocidade para velocidade baixa.

O comando de mudança de velocidade altera entre as 2 velocidades existentes. Se o AGV estiver a andar à velocidade máxima, após o comando passa para a velocidade baixa e vice-versa. A passagem entre velocidades depende da carga, mas para o pior cenário fica completa ao fim de 1 metro.

A velocidade máxima é usada para as retas do trajeto. Já a velocidade baixa é usada para as curvas, para superfícies rugosas e aquando de uma necessidade de paragem precisa.

O A32 está programado de forma a seguir o caminho pela esquerda nas bifurcações. O comando de *Right-Edge-Aligned* permite que o AGC siga o trajeto da direita. Após 2,2 metros, o AGC volta ao modo de *Left-Edge-Aligned*.

### 2.2.3 Constituição Geral de um AGC

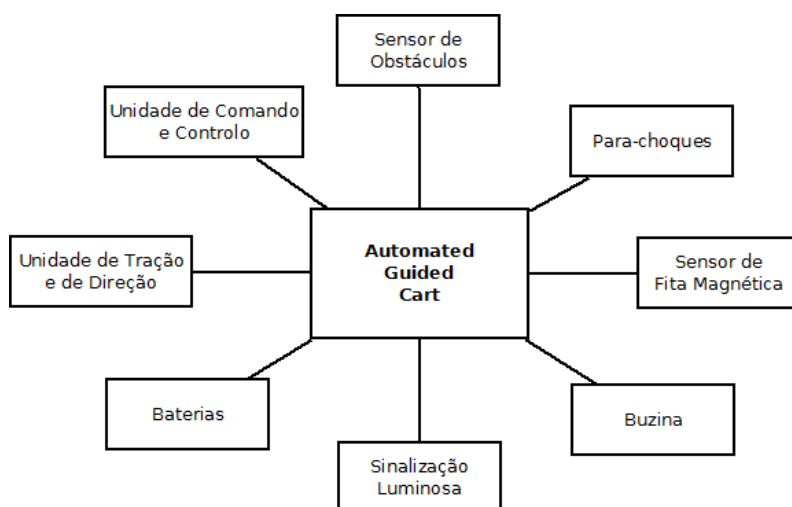


Figura 2.17: Componentes constituintes de uma solução geral de um AGC

Genericamente, verifica-se que um AGC deverá seguir fita magnética como método de navegação e deverá ser composto por vários módulos. Entre eles, pelo menos uma unidade de tração e de direção, uma unidade de comando/controlo, um sensor de obstáculos, um para-choques, baterias, sinalização luminosa e buzina. Uma solução para um AGC deverá englobar vários componentes como é ilustrado na figura 2.17.

#### 2.2.4 Sensor de Obstáculos

Como a construção do AGC é modular, pode-se verificar individualmente cada um dos seus subsistemas. O sensor de obstáculos foi analisado em detalhe.

O sensor de obstáculos deverá ser capaz de detetar presença de objetos ou de pessoas de forma a evitar colisões. Pretende-se uma solução de baixo custo, mas, simultaneamente, de segurança para este sistema.

Após uma pesquisa de mercado, foram analisados os resultados. Estes podem ser consultados na tabela 2.1.

Tabela 2.1: Tabela resumo das características de sensores de obstáculos

Sensor	Fabricante	Tensão (V)	Alcance (m)	Peso (g)	Proteção	Tempo de Resposta(msec)	Preço €
<i>PBS-03JN</i>	Hokuyo	24	0,2 – 3	500	IP64	280	900
<i>UBG-05LN</i>	Hokuyo	24	0,1 – 5	260	IP64	210	1300
<i>PX 22</i>	Sunx	10 – 31	3	170	IP65	80	370
<i>S200</i>	Sick	10 – 31	1,5	1200	IP65	80	1900

O PX-22 é a solução mais barata e, simultaneamente, mais leve, com menor tempo de resposta e maior índice de proteção.

Tanto o PX-22 como o PBS-03JN são soluções muito usadas em AGCs. Por exemplo, O MCAT da Meiden, apresentado na secção 2.2.2.1, permite utilizar ambas as soluções aquando da escolha dos *kits* opcionais. Também a solução da Trilogiq [11], denominada de AGV Move, permite utilizar ambas as soluções e, ainda, o S300 da Sick que não foi considerado devido à restrição de baixo custo que é imposta. Por fim, a solução estudada na secção 2.2.2.2, o AGV A-32 EX da Creform, usa o PX-22.

Atualmente, o PX-22 é uma versão descontinuada, sendo difícil encontrá-lo à venda.



## Capítulo 3

# AGVs na Volkswagen Autoeuropa

Neste capítulo são descritas as diversas utilizações dos AGVs na Volkswagen Autoeuropa.

Na secção 3.1 é introduzido o problema na fábrica da Volkswagen Autoeuropa no que refere à sua frota de AGVs.

Na secção 3.3 são apresentadas as rotas existentes e todo o seu funcionamento.

Na última secção, a secção 3.2 são descritos todos os requisitos e conceitos que se pretendem para a standardização da frota de AGVs da fábrica.

### 3.1 Introdução

A fábrica da Volkswagen Autoeuropa situada em Palmela é uma fábrica do grupo Volkswagen que produz os modelos Eos, Scirocco e Sharan da Volkswagen e ainda o modelo Alhambra da Seat. A fábrica está dividida em 4 áreas de produção: prensas, *body* (carroçarias), pintura e montagem final. As linhas de produção são muitas vezes as mesmas para qualquer um dos modelos, podendo existir qualquer um dos modelos a qualquer momento. Esta versatilidade exige, como de resto em qualquer linha de produção de automóveis atualmente, que a produção seja feita segundo o método *Just-in-Time*. Não são produzidos por lotes de modelos ou de cores. Mas, devido à diversidade de modelos, cores ou até mesmo dos mercados/países para onde vão ser produzidos, é imprescindível que a logística funcione corretamente e entregue as peças necessárias para o carro em específico na altura certa e pela ordem correta. Atualmente, a Volkswagen Autoeuropa dispõe de supermercados espalhados por toda a fábrica com os materiais. Os supermercados são umas áreas relativamente grandes que funcionam como um armazém de peças para as linhas. São abastecidos por empilhadoras ou motas transportadoras e fornecem as linhas de produção. O uso de transportadoras e operadores para as manusear ainda continua a ser largamente usado no transporte das *racks*<sup>1</sup> com os materiais para os locais de montagem. A introdução dos AGVs na fábrica é recente. Como tal, existem ainda poucos AGVs a serem usados para transportar o material dos supermercados para a linha de produção.

---

<sup>1</sup>*racks* é o nome vulgarmente utilizado para as estantarias móveis usadas para transportar os materiais e que são acopladas ao reboque do AGV

Na área das carroçarias são usados AGVs filoguiados. Estes têm a possibilidade de funcionar como transportadoras sendo manuseadas pelos operadores ou seguindo os fios elétricos que se encontram sob calhas no chão.

Contudo, é na área da montagem final onde existe maior diversidade de AGVs. A grande maioria dos AGVs são da Creform, existindo também 2 AGVs de outra empresa (Advance Build) [12]. O modo de funcionamento varia consoante os AGVs. No total existem 6 rotas definidas para abastecer as linhas de produção. São elas:

- **Portas** — Transporte de todo o material colocado nas portas de todos os modelos. Existem 2 rotas, uma para cada porta (direita e esquerda);
- **Spoilers** — Transporte dos *spoilers* dos modelos do Scirocco;
- **Baterias** — Transporte das baterias para o local de montagem de todos os modelos;
- **Motores** — Transporte dos motores e de peças para a montagem final dos motores de todos os modelos;
- **Tirantes e Escapes** — Transporte dos tirantes e escapes de todos os modelos.

Devido à novidade da introdução dos AGVs na fábrica e às diferentes alturas em que foram sendo adquiridos os AGVs, a fábrica dispõe de diferentes AGVs de diferentes empresas e modos de funcionamento diferentes. Esta característica não é muito apreciada na fábrica pois em caso de avaria de um AGV não existe facilidade de trocar por outro existente. A fábrica pretende, naturalmente, que haja uma standardização do funcionamento dos AGVs.

As principais diferenças encontradas entre as rotas dos vários AGVs são:

- **Códigos de marcadores diferentes entre AGVs** — Um tipo de marcador numa rota, pode não significar o mesmo noutra rota diferente;
- **Distância entre marcadores** — A distância entre a fita de orientação e o marcador pode ser muito diferente de rota para rota (diferenças na ordem dos 10cm). Também no caso de existir duplo marcador a distância entre marcadores também pode ser muito diferente;
- **Número de velocidades de funcionamento** — Existem AGVs com apenas 2 velocidades de funcionamento e outros com 3 velocidades;
- **Inicialização com velocidades diferentes** — Existem AGVs que após início de marcha começam com velocidade rápida e outros que iniciam com velocidade lenta;
- **Mudança de velocidade através de um *timer*** — Alguns AGVs iniciam com velocidade lenta e ao fim de algum tempo mudam para velocidade rápida. A passagem entre velocidades não respeita sempre o mesmo tempo;
- **Posição da referência do AGV** — O centro do AGV está descaído para a esquerda da fita, contudo a diferença varia consoante o modelo de AGV;

- **Utilização de controlo remoto** — Alguns AGVs utilizam um controlo remoto ao invés de o operador dar a instrução através do botão de *Start*;
- **Tamanho e tipo de espigão do reboque** — Alguns AGVs utilizam espigões mais pequenos para lanças mais pequenas colocadas nas *racks*. Outros utilizam espigões grandes com lanças que ligam às *racks*;
- **Tamanho, tipo e número de racks** — Existem rotas onde os AGVs transportam uma ou duas *racks*. Há *racks* de diversos tamanhos com encaixes ao espigão diferentes. Há *racks* que carregam e/ou descarregam automaticamente as caixas com os materiais e outras que são totalmente manuseadas pelos operadores;
- **Distância entre o sensor de fita magnética e a ponta do gancho de reboque diferentes** — Esta distância é que vai permitir o correto atracamento entre as *racks* puxadas e as *racks* fixas na linha para carga/descarga. Como o comprimento dos AGVs não é igual entre eles, não é possível utilizar os marcadores de paragem colocados numa rota para parar e atracar corretamente todos os AGVs sem recorrer a ajuste nos marcadores;
- **Manutenção da fita** — Algumas rotas estão muito degradadas havendo grandes falhas de fita na rota.

## 3.2 Rotas existentes na Volkswagen Autoeuropa

### 3.2.1 Portas

#### 3.2.1.1 Modo de funcionamento

É o AGV mais diferente de todos pois é o único que não pertence à Creform. Como tal, os códigos de marcadores são completamente diferentes. O marcador responsável por ordenar a paragem do AGV, os diferentes tipos de marcadores de mudança de velocidade e o duplo marcador para ordenar a mudança de direção na próxima bifurcação são alguns dos exemplos das diferenças nas instruções dadas pelos marcadores.

No que diz respeito à distância entre marcador e fita é também o AGV mais distinto tendo a distância entre marcador e fita 2-3 cm.

Contém 4 velocidades sendo que uma delas é utilizada para aproximar as *racks* de modo a ficarem corretamente alinhadas para carregar/descarregar as caixas com o material e como tal é uma velocidade muito lenta.

Outra das grandes diferenças é o facto de ser o único com sistema de tração diferencial.

É comandado remotamente e puxa duas *racks* que permanecem acopladas ao reboque do AGV durante todo o percurso. A carga e descarga das caixas com o material e das caixas vazias é realizada automaticamente, ou seja, as *racks* do AGV aproximam-se de outras *racks* fixas no local de descarga de material ou carga de caixas vazias e quando estão perfeitamente alinhadas a troca é realizada.

### 3.2.1.2 Testes

Devido à enorme diferença entre este AGV e os outros, este AGV não foi considerado para o problema. Também devido a esse facto não foi possível experimentar o AGV na referida rota a não ser para seguir fita e descurando os marcadores existentes. Como tal, foi testado na linha exclusivamente para confirmar o correto seguimento de fita magnética. A solução para testar o AGV passaria por alterar toda a marcação realizada no *shop floor*. Além disso, esta linha exige que a distância entre o sensor de fita magnética e o encaixe da *rack* seja igual entre AGVs. Se essa condição não for satisfeita, é impossível garantir o correto alinhamento entre as *racks* para proceder à descarga das caixas.

## 3.2.2 Spoilers

### 3.2.2.1 Modo de funcionamento

Este AGV puxa uma *rack* com os *spoilers* de um supermercado para o local de entrega. Esta *rack* acompanha o AGV em todo o percurso. A carga e descarga dos *spoilers* e das caixas vazias são completamente automáticas. O AGV aproxima-se às *racks* fixas com velocidade lenta para alinhar corretamente as *racks*. Quando estão perfeitamente alinhadas a troca é realizada.

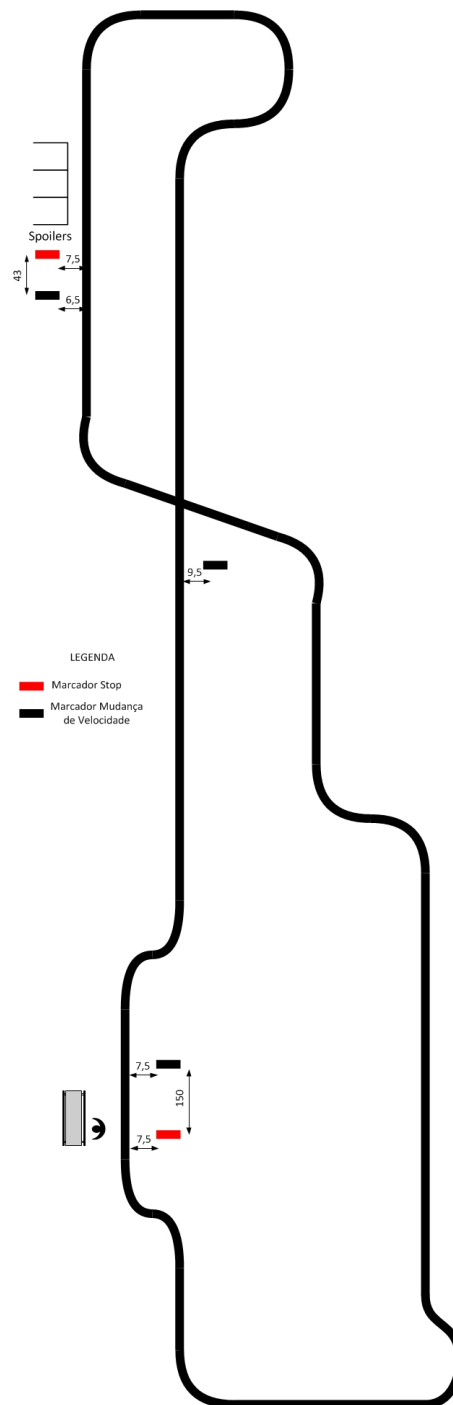
O percurso deste AGV não está muito bem realizado. A interseção faz com que o AGV assuma a fita da interseção como um marcador de velocidade. Além disso, este tipo de bifurcação não se encontra prevista nos tipos de bifurcações possíveis (ver figura 3.7). A figura 3.1 representa o percurso realizado pelo AGV.

### 3.2.2.2 Testes

Esta linha exige que a distância entre o sensor de fita magnética e o encaixe da *rack* seja igual entre AGVs. Se essa condição não for satisfeita, é impossível garantir o correto alinhamento entre as *racks* para proceder à descarga dos *spoilers*. Para além disso, dever-se-á alterar a interseção de modo a estar de acordo com as bifurcações possíveis.

O AGV foi testado nesta rota em apoio à produção, fornecendo os *spoilers* ao longo de um dos turnos. O AGV operou corretamente durante as 8 horas do turno sem sair nenhuma vez da linha e respeitando todos os marcadores do percurso. O operador situado no supermercado deu ordem de arranque pelo comando remoto e o operador situado na linha de produção deu ordem de arranque na botoneira. Contudo, foi necessário, primeiramente, ajustar os marcadores de *Stop* para a posição que permitisse o correto atracamento entre *racks*. Esta situação deveu-se ao facto de o AGV testado ter mais 16cm entre o sensor de leitura de fita e o gancho de reboque do que o AGV em funcionamento. Paralelamente, também foram colocados duplos marcadores nas bifurcações de modo a que o AGV não alterasse a velocidade aquando da passagem das mesmas.



Figura 3.1: Rota do AGV dos *spoilers*

### 3.2.2.3 Possibilidade de melhoria

Na figura 3.2 encontra-se representada uma proposta de *layout* para evitar a bifurcação que altera a velocidade. Com este *layout*, para além de se evitar aquele tipo de bifurcação que não se encontra de acordo com os diferentes tipos de possibilidades de bifurcações e que faz com

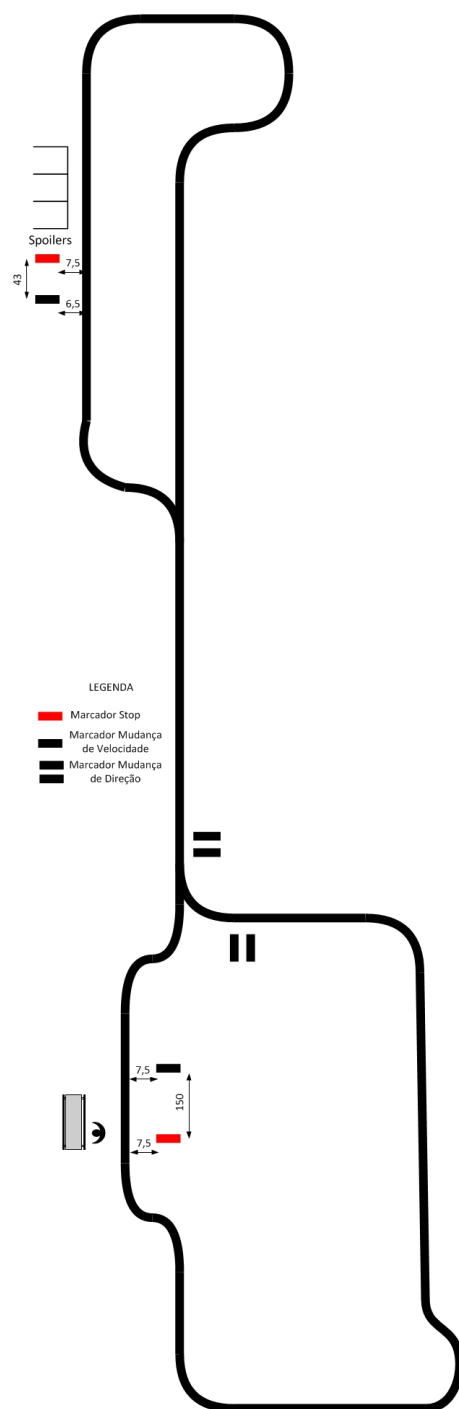


Figura 3.2: Rota proposta para o AGV dos spoilers

que o AGV mude de velocidade quando passa pela bifurcação, este *layout* permite uma redução enorme em fita magnética, e consequente redução de custos. É de referir que a figura 3.1 não se encontra reproduzida à escala e que o troço comum da figura 3.2 tem de comprimento mais de 100 metros, o que equivale a uma redução de custos significativa devido ao elevado preço por metro de fita magnética. Segundo valores de preço em [13], o metro de fita magnética ronda os



### 3.2.3 Baterias

#### 3.2.3.1 Modo de funcionamento

Esta rota transporta os diferentes tipos de baterias para a linha de produção. O AGV contém uma *rack* acoplada. Esta é carregada manualmente por um operador no supermercado, com as baterias necessárias. De seguida, o AGV segue para o local de entrega das baterias. Este local consiste numa *rack* para onde são descarregadas as baterias automaticamente. A aproximação à *rack* para o perfeito alinhamento entre a *rack* com as baterias e a *rack* onde estas vão ser entregues é feita em velocidade muito lenta. Por isso, o AGV dispõe de 3 velocidades. Após a descarga das baterias, o AGV é colocado em movimento através de controlo remoto. Para marcar as 3 velocidades, a linha contém um marcador específico diferente dos inicialmente propostos. Este marcador não deverá ser implementado porque não existe nenhuma vantagem em ter 3 velocidades, bastando ter uma velocidade rápida e uma velocidade lenta.

#### 3.2.3.2 Testes

Esta linha exige que a distância entre o sensor de fita magnética e o encaixe da *rack* seja igual entre AGVs. Se essa condição não for satisfeita, é impossível garantir o correto alinhamento entre as *racks* para proceder à descarga das baterias. Paralelamente, o uso do tipo de marcador especial terá que ser retirado para que o AGV possa ser testado. Existem também algumas distâncias que ultrapassam o alcance do sensor de fita magnética e que deverão ser aproximadas para realizar testes.

Contudo, esta rota não pôde ser testada devido à presença desse tipo de marcador especial.

### 3.2.4 Tirantes e Escapes

A figura 3.4 representa a rota usada para entregar as *racks* dos tirantes e dos escapes e descarregar as *racks* vazias.

#### 3.2.4.1 Modo de funcionamento

Como se pode ver na figura, existem 2 supermercados entre os dois locais de entrega de *racks*. Na parte superior da figura 3.4 o AGV entrega a *rack* nova com os escapes carregada na última passagem pelo supermercado e recebe a *rack* vazia dos escapes. Depois segue para a próxima paragem no supermercado onde deixa a *rack* vazia dos tirantes e onde é carregada a nova *rack* dos tirantes. A seguir é descarregada a *rack* dos escapes. O AGV encaminha-se para o local de entrega da *rack* dos tirantes (na zona inferior da figura 3.4). Por fim, recebe a *rack* vazia dos tirantes, passando pelo supermercado para receber a nova *rack* dos escapes, iniciando-se um novo ciclo.

Tanto a carga como a descarga quer no supermercado, quer na linha de produção são realizadas por operadores que trocam as *racks* presas pelos espigões por outras *racks*. Esta é, de resto, a única rota onde as *racks* são retiradas da lança do AGV. Em todas as outras situações, a *rack* que o AGV puxa permanece sempre acoplada durante todo o percurso.

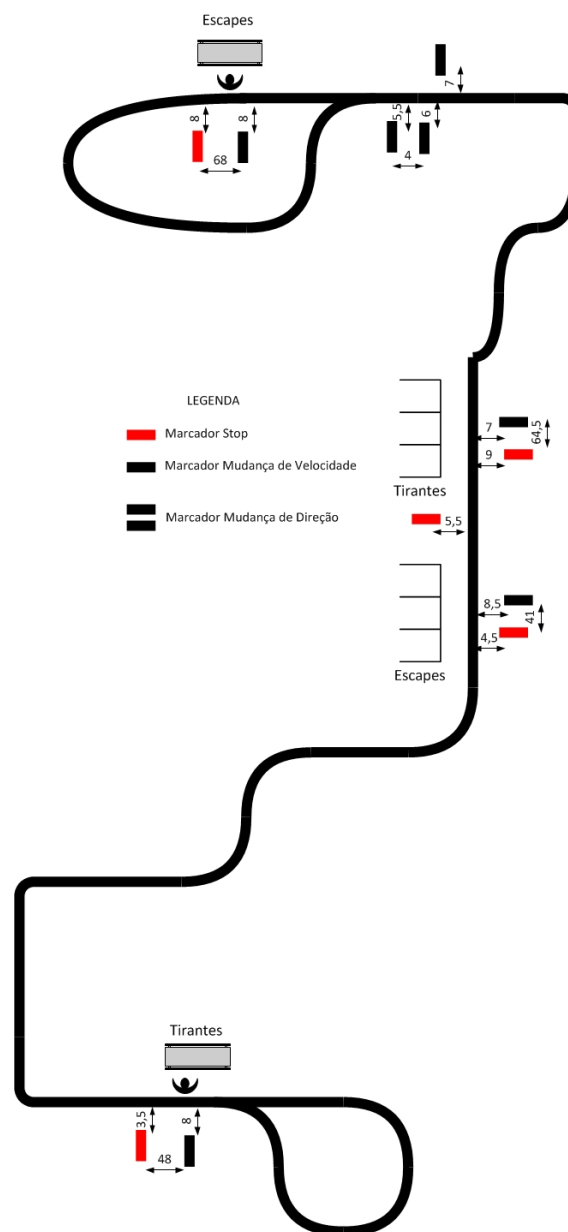


Figura 3.4: Rota do AGV dos tirantes e escapes

### 3.2.4.2 Testes

Apesar da má manutenção da fita presente na rota, esta é a melhor linha para se poder realizar testes com o AGV pois este não tem nenhuma posição obrigatória de paragem para carregar/descarregar caixas para as *racks*. Para além disso, todos os marcadores estão colocados a distâncias aceitáveis para serem lidas pelo sensor de fita magnética.

### 3.2.5 Motores

#### 3.2.5.1 Modo de funcionamento

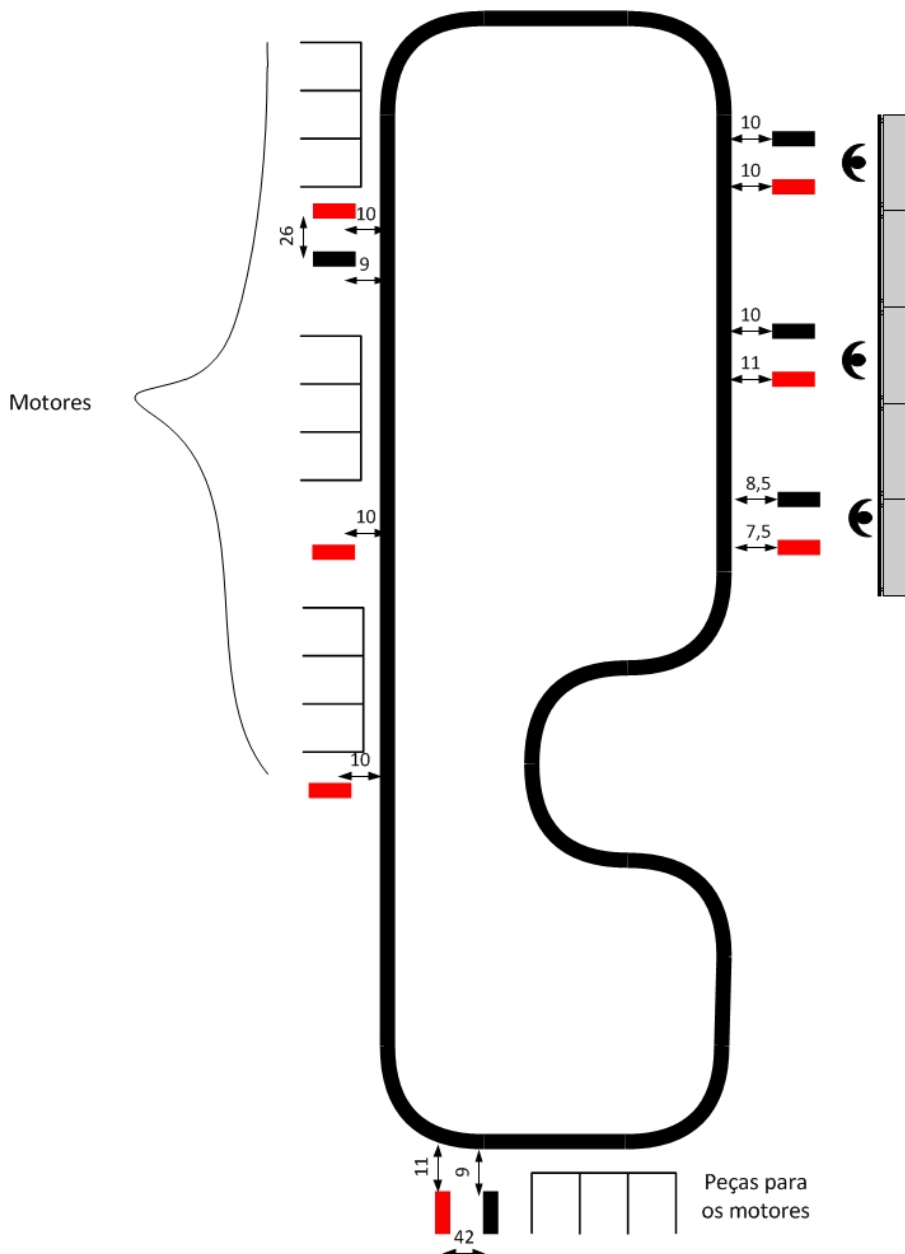


Figura 3.5: Rota do AGV dos motores

Esta é a única rota que dispõe de vários AGVs a funcionar em simultâneo. Todos eles contém uma *rack* acoplada e ainda um suporte para transporte de materiais sobre a estrutura do próprio AGV. Apesar da carga e descarga do material ser realizado manualmente, a *rack* não é retirada do AGV mas sim apenas os componentes colocados sobre ela. O AGV passa por um supermercado onde são colocadas as primeiras peças utilizadas na montagem do motor (canto inferior direito

da figura 3.5). Do lado esquerdo da figura é possível ver os vários supermercados de motores existentes. Após a colocação do motor sobre a *rack*, o AGV vai para uma zona onde as peças e os motores são retiradas e colocadas na linha de produção. Após esta passagem de material reinicia-se o ciclo voltando ao supermercado das peças dos motores.

### 3.2.5.2 Testes

Para que esta rota possa ser testada é preciso ter em atenção o facto de existirem sempre muitos AGVs a trabalhar simultaneamente, dificultando manobras para o testar. Para além disso, os marcadores estão colocados a uma distância demasiado grande para poder ser lida pelo sensor usado. A solução deverá passar por aproximar os marcadores à fita.

### 3.2.6 Resumo

Tabela 3.1: Tabela resumo das características dos diferentes AGVs usados nas diferentes linhas de produção

Características	<i>spoilers</i>	Tirantes e Escapes	Motores	Baterias	Portas
<i>Nº de Códigos de Marcadores</i>	2	3	2	4	4
<i>Distância entre fita e marcador (min-max)</i>	6,5-9,5	3,5-9	7,5-11	6-10	2-3
<i>Nº de velocidades</i>	2	2	2	3	3
<i>Inicialização com velocidade</i>	Lenta	Lenta	Rápida	Lenta	Lenta
<i>Mudança de velocidade após timer</i>	4s	4s	n.a.	2s	n.a
<i>Posição referência do AGV</i>	+10cm esq	+20cm esq	+16cm esq	+20cm esq	+11cm esq
<i>Número de racks</i>	1	2	1	1	2
<i>Número de AGVs em simultâneo</i>	1	1	8	1	1

## 3.3 Estandarização de AGVs

Os principais requisitos que foram exigidos pela Volkswagen Autoeuropa na conceção de um modelo estandardizado de AGVs são os seguintes:

- Seguir fita magnética;
- Seguir caminho da esquerda por defeito, no caso de bifurcação;
- Utilizar botoneira e controlo remoto;

- Início do movimento com velocidade rápida após marcador de *Stop*;
- Manter a velocidade do estado anterior após paragem por botão, comando ou laser;
- Respeitar o código de marcadores mais utilizado na fábrica;
- Toque do besouro antes de arrancar.

Os AGVs que a Volkswagen Autoeuropa pretende que sejam desenvolvidos deverão respeitar o código de marcadores visto na subsub 2.2.2.2:

- **Marcador de paragem** — Um marcador de polaridade contrária à da fita. O AGV para após a deteção do marcador. Sinaliza uma estação (figura 3.6a);
- **Marcador de mudança de velocidade** — Um marcador da mesma polaridade da fita. O AGV altera a velocidade: se vem em velocidade lenta passa para velocidade rápida, se vem em velocidade rápida passa para velocidade lenta (figura 3.6b);
- **Marcador para seguir o caminho da direita na próxima bifurcação** — Dois marcadores da mesma polaridade da fita. Após o duplo marcador, o AGV seguirá o caminho da direita numa bifurcação (figura 3.7).

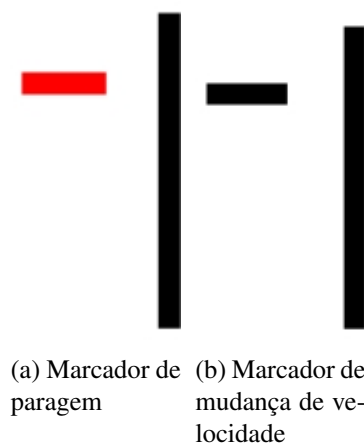


Figura 3.6: Código de marcadores

Outra das condições de standardização é que o AGV deverá seguir sempre o caminho da esquerda, excetuando os casos em que recebe a ordem específica de seguir o caminho da direita por intermédio do duplo marcador. Como se pode observar na situação 1 da figura 3.7, caso não exista o duplo marcador, o AGV deverá seguir a curva à esquerda. Na situação 2 da mesma figura, caso não exista duplo marcador, o AGV deverá seguir em frente. Na situação 3 da figura, o AGV segue pela fita que se encontra na horizontal. Neste caso, é imprescindível também o uso do duplo marcador. Sem o duplo marcador, o AGV pode assumir a fita magnética na junção da bifurcação como um marcador e mudar de velocidade ou perder-se por tentar seguir a fita da esquerda, ou seja, a fita magnética de baixo, e não ter ângulo suficiente para virar. O mesmo acontece na situação 4.



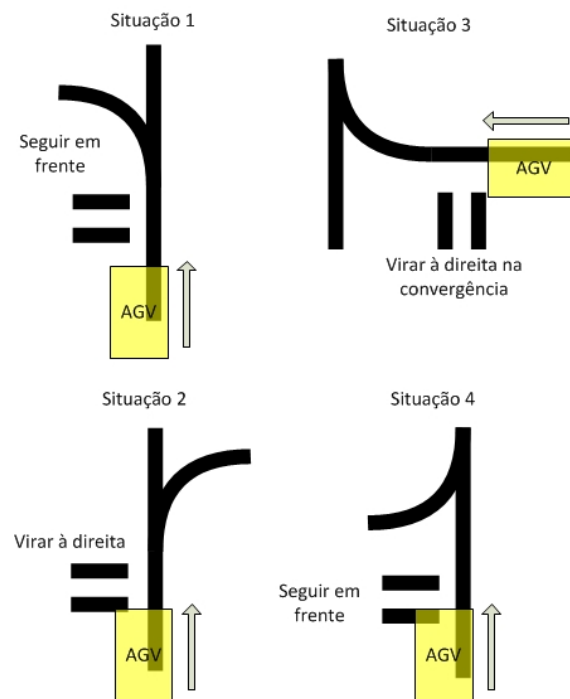


Figura 3.7: Marcador para indicar para seguir o caminho da direita na próxima bifurcação

Por fim, é importante referir também que a distância entre a fita e os marcadores deverá ter em atenção ao facto de que o sensor da Creform é 4 cm maior que o sensor do AGV deste projeto. Como tal, essa diferença poderá ser demasiado grande para que o AGV leia quer a fita, quer o marcador e poder-se-á necessitar de aproximar essa distância.



## Capítulo 4

# *Hardware* do AGV

Neste capítulo encontra-se descrito o *hardware* utilizado no AGV.

Na secção 4.1 é apresentada uma introdução dos diferentes sistemas e qual a ligação entre eles.

A secção 4.2 descreve a caixa respetiva ao processamento. Esta secção apresenta a interligação entre as PCBs usadas e sua função.

O quadro elétrico é apresentado na secção 4.3. Nesta secção são referidas as ligações elétricas à botoneira, ao relé de segurança e aos contadores e relés auxiliares. É também descrito o modo de operação do AGV. Paralelamente, são identificadas as normas de segurança exigidas e executadas.

Todos os outros constituintes do AGV, tais como o sensor de obstáculos, sensor de fita magnética, pirilampo, *buzzer* entre outros, podem ser consultados na secção 4.4.

### 4.1 Introdução

A figura 4.1 ilustra a constituição do *hardware* do AGV.

A construção da parte física do AGV pode ser dividida em dois sistemas:

- a caixa de controlo respeitante ao processamento e às PCBs usadas para comunicar com o sistema de tração e com as entradas e saídas;
- a caixa de comando responsável pela visualização do estado atual do AGV e interface para os utilizadores darem ordens ao veículo.

Os restantes equipamentos do AGV que são ligados a estes sistemas são:

- Sensor de obstáculos;
- Sensor de fita magnética;
- Sistema de tração;
- Pirilampo;

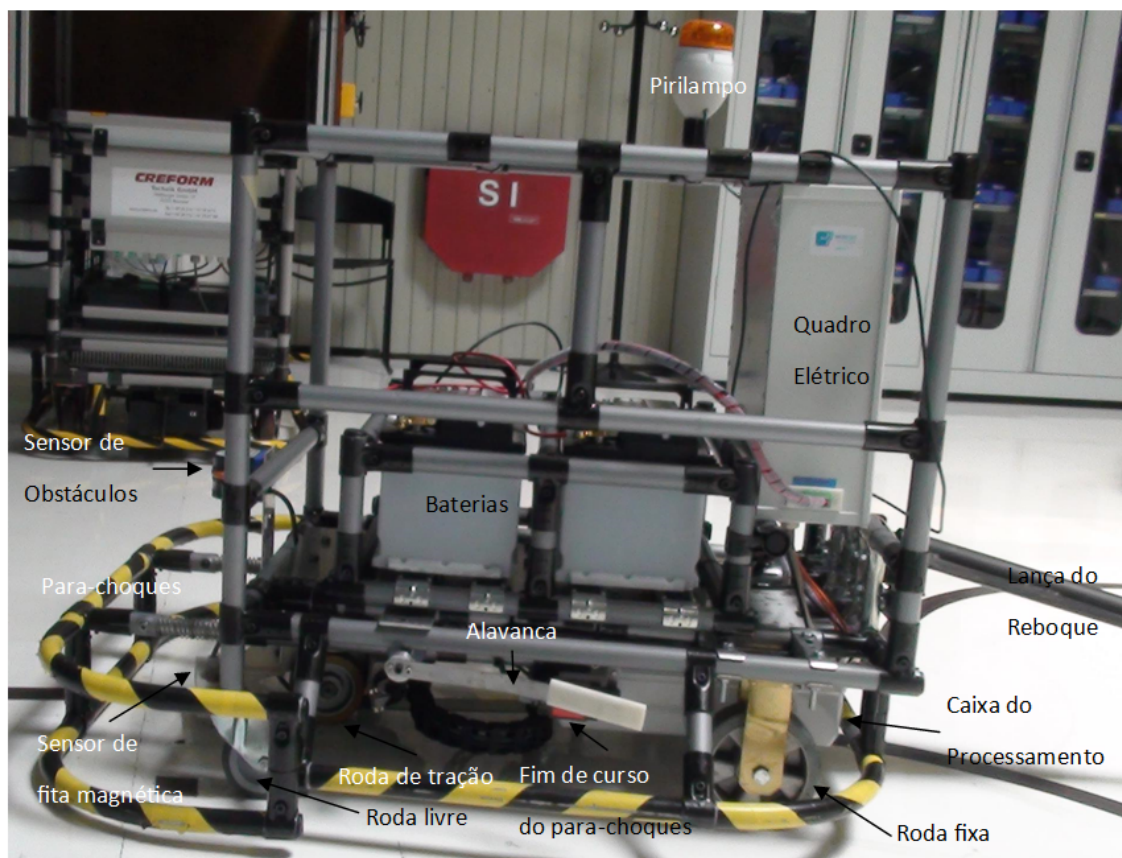


Figura 4.1: Constituição física do AGV

- Besouro;
- Para-choques;
- Baterias;
- Controlo remoto.

## 4.2 Caixa de Controlo/Processamento

A caixa de controlo é responsável por adquirir as entradas, processá-las e atuar nas saídas. O processamento dos dados é realizado no microprocessador ATXMEGA128A1 da Atmel, sob a placa de desenvolvimento Megavore. Todas as PCBs utilizadas dentro da caixa do processamento são desenvolvidas pelo laboratório de robótica do INESC TEC / FEUP e foram aproveitadas para serem aplicadas a este AGV.

A fotografia da figura 4.2 pretende mostrar a constituição e a disposição das diferentes PCBs utilizadas.

A PCB Megavore é a responsável pelo controlo do AGV, lendo as entradas e escrevendo nas saídas.

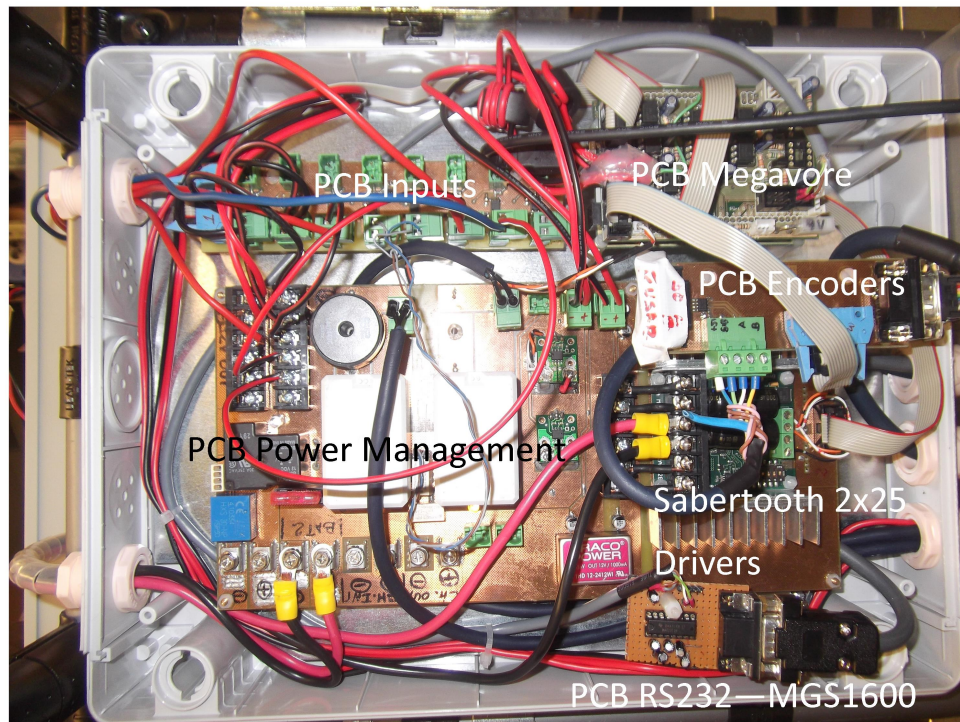


Figura 4.2: Fotografia da caixa de controle/processamento

A *PCB Inputs* obtém os valores dos botões *Go*, *Stop*, botão de emergência e ainda do controle remoto. Adquire ainda os valores dos fins de curso da direção e o valor do sensor de obstáculos. Por fim, possui ainda um *Output* responsável por dar a ordem ao besouro para apitar.

A *PCB Power Management* alimenta todo o processamento, exceto os *drivers* dos motores que são alimentados paralelamente.

A *PCB Encoders* liga os *encoders* ao processamento de forma a poderem ser tratados os dados recebidos.

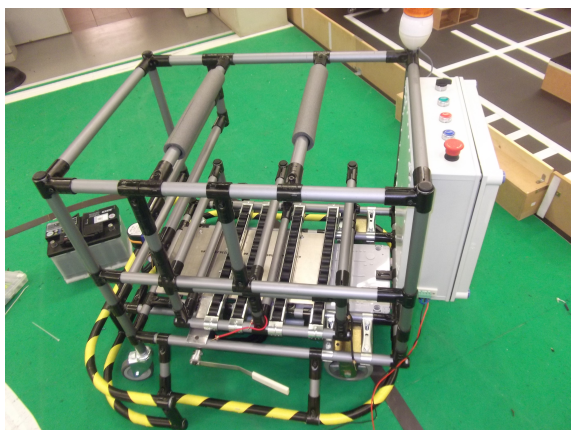
Por fim, a PCB dos *Drivers* dos motores. A Sabertooth 2x25 recebe os comandos da Megavore e transforma em PWM.

## 4.3 Caixa de Comando/Quadro Elétrico

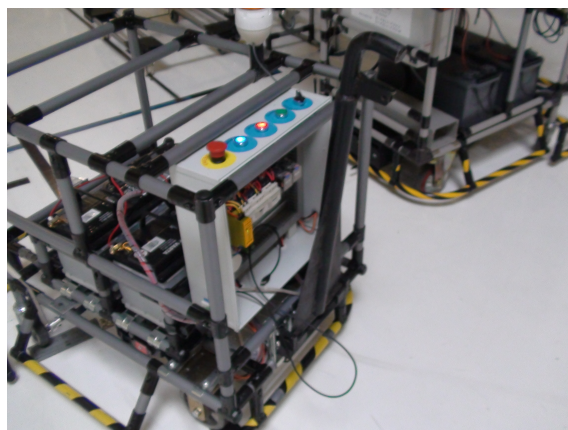
### 4.3.1 Constituição do quadro elétrico

A caixa de comando possibilita a interação entre o utilizador e o AGV, permitindo que este ligue e desligue o AGV, coloque as baterias no modo de carregamento, coloque o AGV em movimento, pare o AGV, execute uma paragem de emergência, desencrave o modo de emergência ou o modo inicial de funcionamento.





(a) Posição inicial do Quadro Elétrico



(b) Posição final do Quadro Elétrico

Figura 4.3: Alterações do Quadro Elétrico

Quando foi concebido o AGV na FEUP, o Quadro Elétrico encontrava-se no exterior da estrutura do AGV como pode ser visto na figura 4.3a. Na Volkswagen Autoeuropa constatou-se que a disposição do quadro não permitia a colocação da lança do reboque. Como tal, teve de se proceder à alteração da localização do quadro para dentro da estrutura do AGV. A figura 4.3b apresenta o resultado final já com a lança colocada.

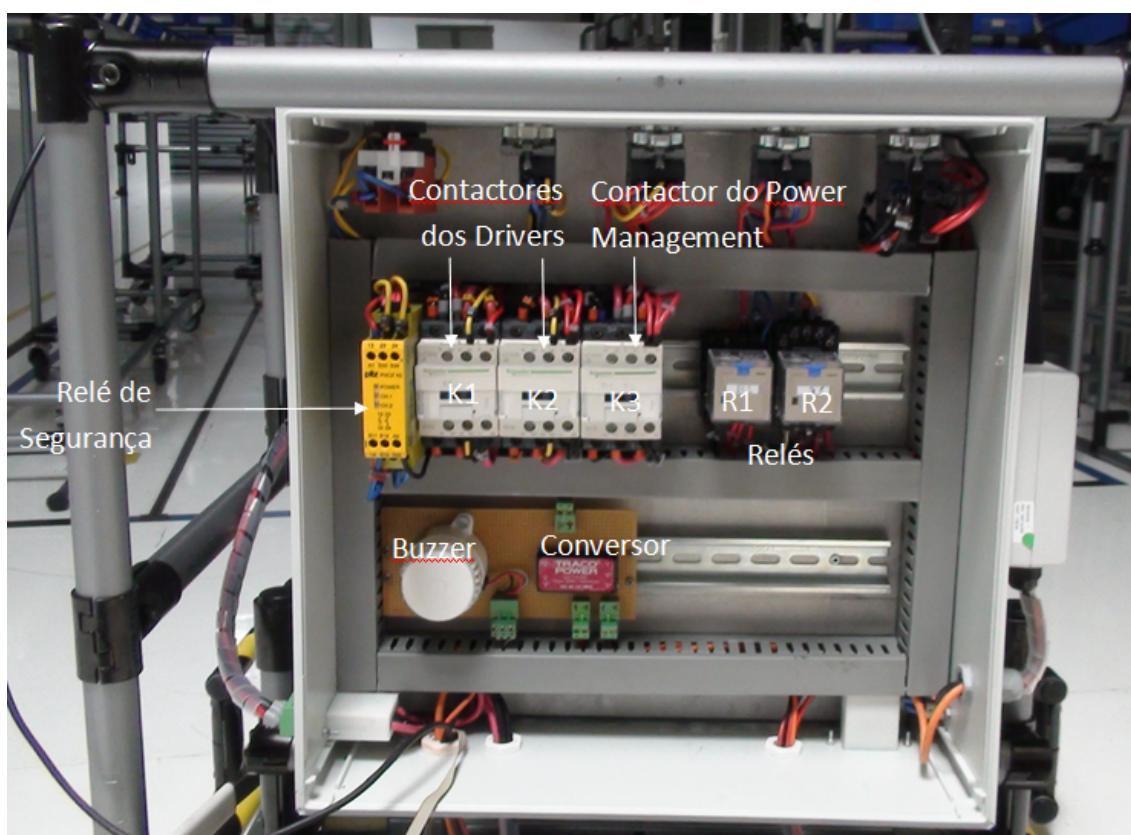


Figura 4.4: Interior do quadro elétrico

Na figura 4.4 ilustra-se o interior do quadro elétrico composto por um relé de segurança (PNOZ X5), 2 contatores para alimentação dos *drivers*, 1 contator para alimentação da PCB de *Power Management* e 2 relés auxiliares para ligar/desligar a sinalização luminosa dos botões de pressão *Start*, *Stop* e *Reset*.

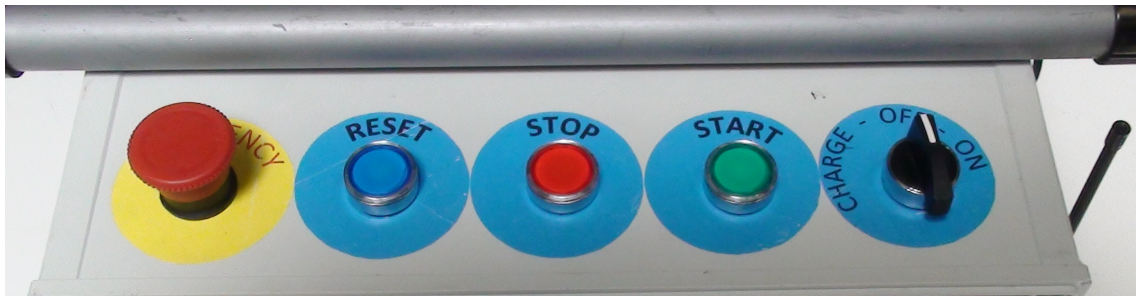
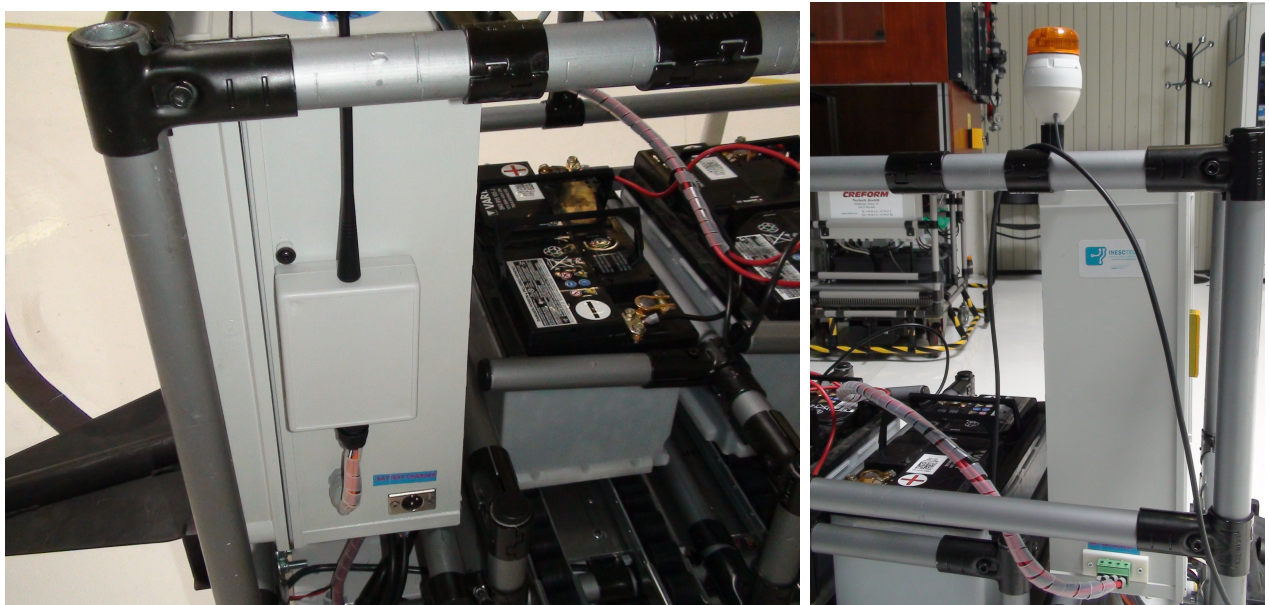


Figura 4.5: Vista de cima do exterior do quadro elétrico do AGV - Botoneira



(a) Lado direito - Controle Remoto e Ligação do carregador

(b) Lado esquerdo - Ligação das baterias

Figura 4.6: Vistas laterais do quadro elétrico do AGV

Na figura 4.5 é possível visualizar a botoneira utilizada para dar as instruções ao AGV. A botoneira contém um botão de emergência responsável por retirar o AGV do modo operacional cortando a alimentação dos *drivers* dos motores; um botão de pressão de cor azul denominado de botão *Reset*, responsável pelo encravamento dos contatos do relé de segurança de modo a colocar o AGV operacional; um botão de pressão de cor verde denominado de botão *Go*, responsável por indicar ao AGV para iniciar a marcha; um botão de pressão de cor vermelha denominado de botão *Stop*, que para o AGV mantendo-o em modo operacional e um interruptor geral com 3 posições: *Off*, *On* e *Charge*. Este último permite carregar as baterias utilizando uma entrada própria para

ligar a um carregador (ver figura 4.6a). Na figura 4.6b é possível ver a ligação das baterias ao quadro elétrico.

Debaixo do quadro elétrico do AGV encontra-se a ligação aos *switches* do para-choques que, em caso de acionamento, levam o AGV para o modo de emergência.

## 4.3.2 Esquemas elétricos

### 4.3.2.1 Circuito de Potência

A figura 4.7 ilustra o circuito de potência. As ligações das baterias entram no quadro elétrico pelo lado esquerdo (ver figura 4.6b) e alimentam os contatores auxiliares utilizando todos os contatos de potência segundo as normas de segurança. Paralelamente, as baterias alimentam também o conversor.

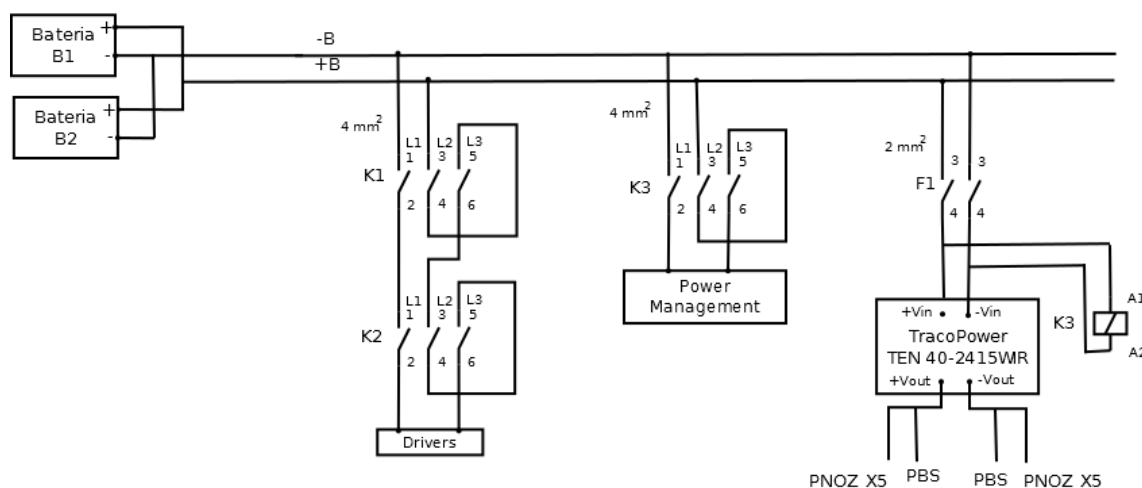


Figura 4.7: Esquema elétrico do circuito de potência

Os contatores auxiliares K1 e K2 são utilizados em série (também respeitando as normas de segurança) e alimentam os *drivers* dos motores.

O contator auxiliar K3 alimenta a PCB de *Power Management*, responsável por entregar tensão a todas as PCBs, incluindo a placa de desenvolvimento e seu microprocessador.

O relé de segurança (PNOZ X5) e o sensor de obstáculos (PBS-03JN) necessitam de serem alimentados a 24V. Como tal, o interruptor em modo *ON* alimenta o conversor DC/DC (Traco Power TEN 40-2415 WIR) de 12V para 24V colocando o relé de segurança e o sensor de obstáculos em funcionamento.

### 4.3.2.2 Circuito do Relé de Segurança

O esquema das ligações elétricas efetuadas no relé de segurança pode ser visualizado na figura 4.8. Como se pode ver pela comparação entre a configuração descrita nas páginas 3 e 4 da datasheet do PNOZ X5 [14] e a figura 4.8, a configuração adotada para o *Input Circuit* é a de



E-STOP em *dual-channel*, com o botão de emergência a funcionar como o botão S1 da *datasheet*. Em série com o botão de emergência são colocados os botões de fim de curso no para-choques a funcionarem também como emergência ao sistema. Utilizou-se a configuração de *Manual Reset* para o *Reset Circuit*, com o botão S3 da *datasheet* a corresponder ao botão de *Reset* responsável por colocar o sistema alimentado. A utilização dos contatos auxiliares de K1 e K2 segue o descrito no *Feedback Loop* da mesma *datasheet*. São assim reunidas as condições à utilização do relé de segurança em conformidade com as regras de segurança.

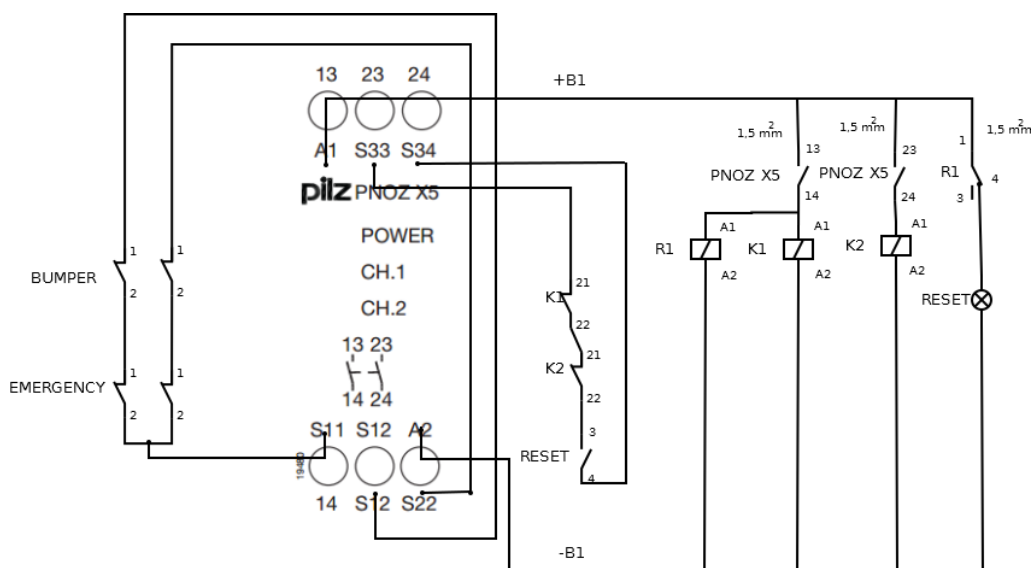


Figura 4.8: Esquema elétrico do circuito do relé de segurança

Após o AGV ser ligado, o contator K3 (contator que alimenta a PCB do *Power Management* e o microprocessador) é atuado e como tal, o processamento é alimentado e está em funcionamento. Contudo os contatores K1 e K2 necessitam ainda que o botão de *Reset* seja premido. O botão *Reset* fica iluminado quando o AGV é ligado para indicar que é necessário carregar neste botão para realizar o encravamento do relé de segurança e, conseqüentemente, colocar o AGV em modo operacional.

Após o encravamento do relé de segurança, os *drivers* dos motores são alimentados colocando o AGV em modo operacional, esperando contudo, pela atuação do botão de *Go* para dar início ao movimento do robô.

Como se pode ver na figura 4.8, no caso de se pressionar o botão de emergência ou da atuação de um dos *switches* do para-choques, o relé de segurança atua, deixando de alimentar os *drivers* dos motores e entra em modo de emergência. Consequentemente, a sinalização luminosa do botão *Reset* liga para indicar a necessidade de pressionar o botão para encravar o relé de segurança novamente. Existem 2 *switches* ligados ao botão de emergência para cumprir com as normas de segurança.

### 4.3.2.3 Circuito de Comando

Como pode ser visualizado na figura 4.9, quando o AGV é ligado, ele está por defeito com a sinalização luminosa de *Stop* ativa. Após o pressionamento do botão de *Go*, este atua no relé R2, desligando a sinalização luminosa do botão de *Stop* e ligando a sinalização luminosa do botão de *Go*. Esta última volta a ser desligada no caso do botão de *Stop* ser atuado, acendendo a luz do botão de *Stop*.

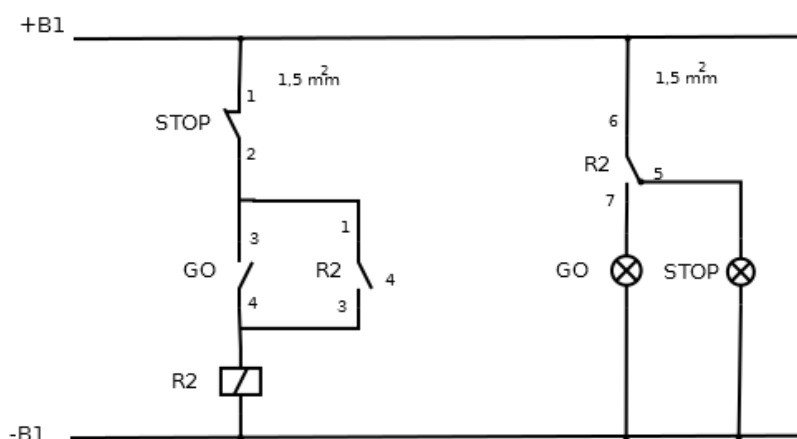


Figura 4.9: Esquema elétrico do circuito de comando - Sinalização luminosa dos botões *Go* e *Stop*

Os impulsos dados nos botões de pressão são também enviados para o processamento, para que este possa atuar no sistema. Como tal, o botão de *Go* e o botão de *Stop* estão ligados à PCB de *Inputs* através de contatos auxiliares.

Para o processamento é também importante saber quando é que os motores estão a ser alimentados. Para isso basta confirmar quando é que o relé R1 está a ser atuado. A figura 4.10 demonstra o exposto anteriormente.

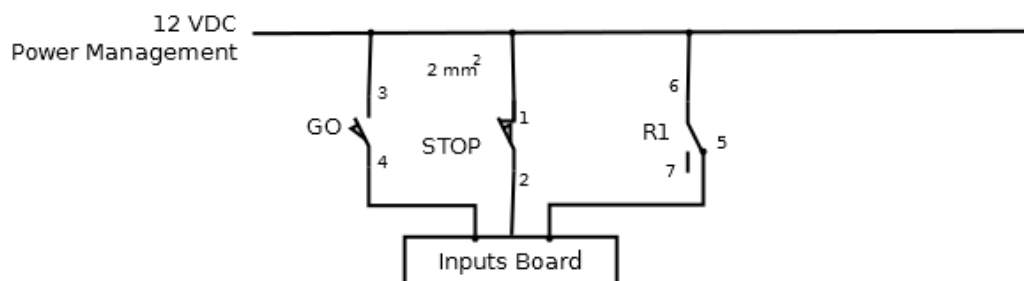


Figura 4.10: Esquema elétrico do circuito de comando - Ligação da atuação dos botões de pressão ao processamento

#### 4.3.2.4 Circuito de Carga das baterias

O AGV dispõe de um modo de carregamento através do posicionamento do interruptor geral no modo *Charge*. O objetivo é reduzir o desperdício de tempo na constante troca de baterias e desaperto de bornes, possibilitando a ligação de um carregador às baterias por intermédio do próprio AGV. Na figura 4.11 é possível visualizar o esquema das ligações de um carregador às baterias.

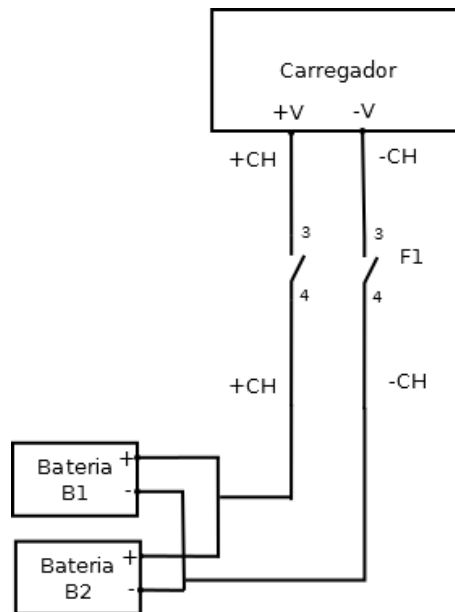


Figura 4.11: Esquema elétrico do circuito de carregamento

## 4.4 Outros equipamentos

### 4.4.1 Sensor de Obstáculos



Figura 4.12: Sensor de obstáculos utilizado

O sensor de obstáculos é utilizado para evitar colisões do AGV com objetos e pessoas que surjam no caminho. Escolheu-se o PBS-03JN da Hokuyo (ver subsecção 2.2.4). Na figura 4.12 é possível observar o sensor de obstáculos utilizado. Este dispõe de 3 saídas que correspondem, respetivamente, a 3 áreas pré-definidas de deteção. Foi utilizada uma dessas áreas do sensor para informar o processamento do AGV da presença ou não de obstáculos. Essa área corresponde a uma semi-circunferência de 70cm de raio com o sensor de obstáculos no centro. No caso de algum obstáculo entrar dentro deste campo de alcance, a megavore recebe essa informação e a tração do AGV é parada. O sensor de obstáculos foi colocado na parte da frente da estrutura do AGV a 30cm do chão.

#### 4.4.2 Sensor de fita magnética

O AGV utiliza como método de navegação o seguimento de fita magnética. Como tal, é necessário dispor de um sensor de leitura de fita magnética. Além do seguimento de fita, é também exigida a utilização de marcadores de fita magnética para dar instruções ao AGV, tais como parar, mudar de velocidade, ou escolher um caminho numa bifurcação. O sensor de fita magnética escolhido foi o MGS1600 da Roboteq. Na figura 4.13 é possível observar o sensor de fita magnética utilizado. Este sensor tem de largura 16 cm e é relativamente mais pequeno que o usado pelo nosso AGV de comparação, o AGV da Creform, com 20 cm. O facto da largura ser menor vai reduzir a distância máxima entre fita e marcador pela qual o AGV consegue realizar leitura corretamente. O sensor foi colocado a 3cm do chão, pois a *datasheet* do sensor sugere para melhores resultados a colocação do sensor entre os 2-4 cm.

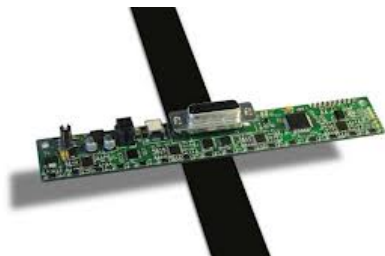


Figura 4.13: Sensor de fita magnética utilizado

A fita usada contém duas polaridades, uma em cada face da fita. É possível distinguir ambas as faces devido a uma das faces ser rugosa e outra plenamente lisa. O sensor de fita magnética deteta essa diferença de polaridades. A face lisa é utilizada como fita de orientação, ou seja, fita da rota do AGV<sup>1</sup>. A face rugosa é utilizada como fita de marcador, ou seja, fita que permite dar instruções ao AGV.

Este sensor permite detetar a existência de bifurcações ou convergências de caminhos devido à possibilidade de detetar duas fitas de orientação. O controlador assume sempre que os dois caminhos estão presentes: o caminho da esquerda (*Track Left*) e o caminho da direita (*Track*

<sup>1</sup> Ao longo do documento este tipo de fita é vulgarmente denominada de *Track*.

*Right*). Caso só exista uma fita, o sensor considera as duas fitas sobrepostas. Também no caso caso da fita do tipo de marcador, o sensor deteta a existência de marcadores à direita (*Mark Right*) e marcadores à esquerda (*Mark Left*).

As variáveis *Track* têm como valores, números inteiros positivos ou negativos. Estes dependem da distância entre a *Track* e o centro do sensor. O centro do sensor é considerado como a origem do eixo, sendo que para a esquerda os valores são negativos e para a direita são positivos. De referir que a altura a que o sensor se encontra da fita altera estes mesmos valores.

As variáveis *Mark* são booleanos que indicam apenas a existência de um marcador ou não.

#### 4.4.3 Sistema de tração



Figura 4.14: Sistema de tração - visto de trás

O sistema de controlo de direção adotado é o vulgarmente conhecido como triciclo, isto é, uma roda de tração e direção à frente que gira em torno de si própria e um eixo traseiro de rodas fixas, tal como pode ser visto na figura 2.5 da subsecção 2.1.3.

O laboratório de robótica da FEUP desenvolveu o sistema que pode ser visto nas figuras 4.14 e 4.15, composto por um motor para a tração, um motor para a direção, um conjunto de polias dentadas e um sistema composto por uma mola, um eixo e alavanca. Este último conjunto permite a funcionalidade de colocar a roda em contacto com o chão para o AGV funcionar normalmente ou colocá-la no ar de forma ao AGV funcionar como carrinho e ser empurrado e é possível de ser visualizado na figura 4.16.



Figura 4.15: Sistema de tração - vista de lado

#### 4.4.3.1 Motor de Tração

O motor de tração utilizado no AGV é o motor DC da Maxon de referência 148866. A tensão nominal é de 12V e executa 6380 rpm nominais. É um motor de escovas de grafite de 150W. Possui uma caixa redutora acoplada com uma redução de 26:1. Contém ainda um *encoder* com 256 passos por rotação.

#### 4.4.3.2 Motor de Direção

A solução utilizada para o motor de direção é o motor "37D mm metal gear motor with 64 CPR encoder" da Pololu de 12V. Como é referido na descrição do motor, contém um *encoder* com 64 passos por rotação. A este motor é acoplada uma caixa redutora com uma redução de 50:1.

#### 4.4.4 Pirilampo

As normas de segurança de AGVs exigem a sinalização luminosa do veículo em caso de funcionamento. Como tal, optou-se por uma lâmpada de corrente contínua de cor amarela que acende



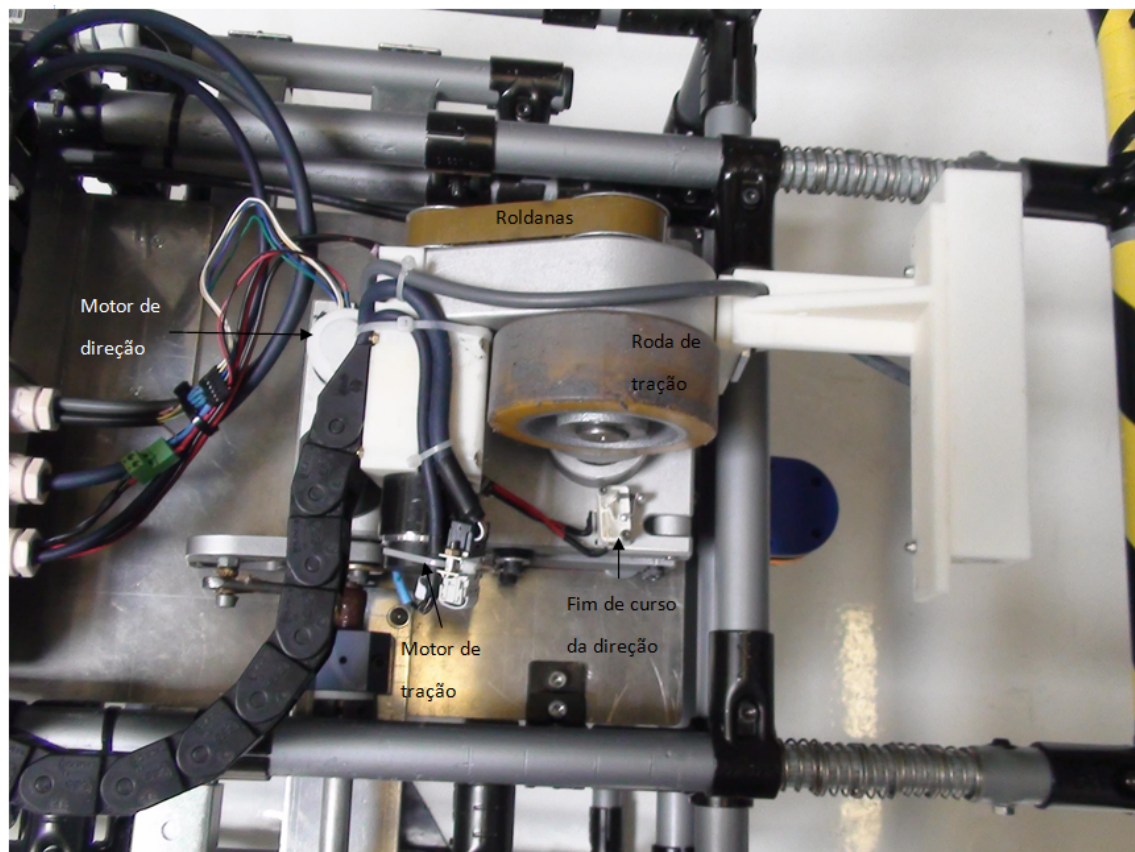


Figura 4.16: Integração do Sistema de tração no AGV - vista de baixo

intermitentemente quando o interruptor do AGV está na posição *On*. A lâmpada utilizada é da Klaxon com a referência QBS-0063 e funciona entre os 11-35V.



Figura 4.17: Pirilampo utilizado



Figura 4.18: Besouro utilizado

#### 4.4.5 Besouro

As normas de segurança de AGVs também exigem a sinalização sonora do veículo em caso de funcionamento. Como tal, optou-se por um besouro que emite um sinal sonoro quando é dada a ordem de avançar no botão de *Go*. O besouro é o AE35M-02 também da Klaxon que opera entre os 6-28V produzindo um som de 95-100dB e pode ser visualizado na figura [4.18](#).

#### 4.4.6 Para-choques



Figura 4.19: Fim de curso do para-choques



O para-choques também está previsto nas normas de segurança e, como tal, foram colocados 2 fins de curso de acordo com essas regras de segurança para que, no caso de serem atuados cortarem a alimentação dos *drivers* dos motores e executar uma paragem brusca do AGV. Os dois fins de curso encontram-se de cada um dos lados do AGV. Na figura 4.19 encontra-se representado um dos fins de curso utilizados. Os fins de curso são *switches* de segurança da Euchner.

O para-choques dispõe de duas molas de cada lado, como representado na figura 4.20. Estas permitem que após uma batida no para-choques, este volte para a posição inicial quando deixe de ser exercida força no para-choques.

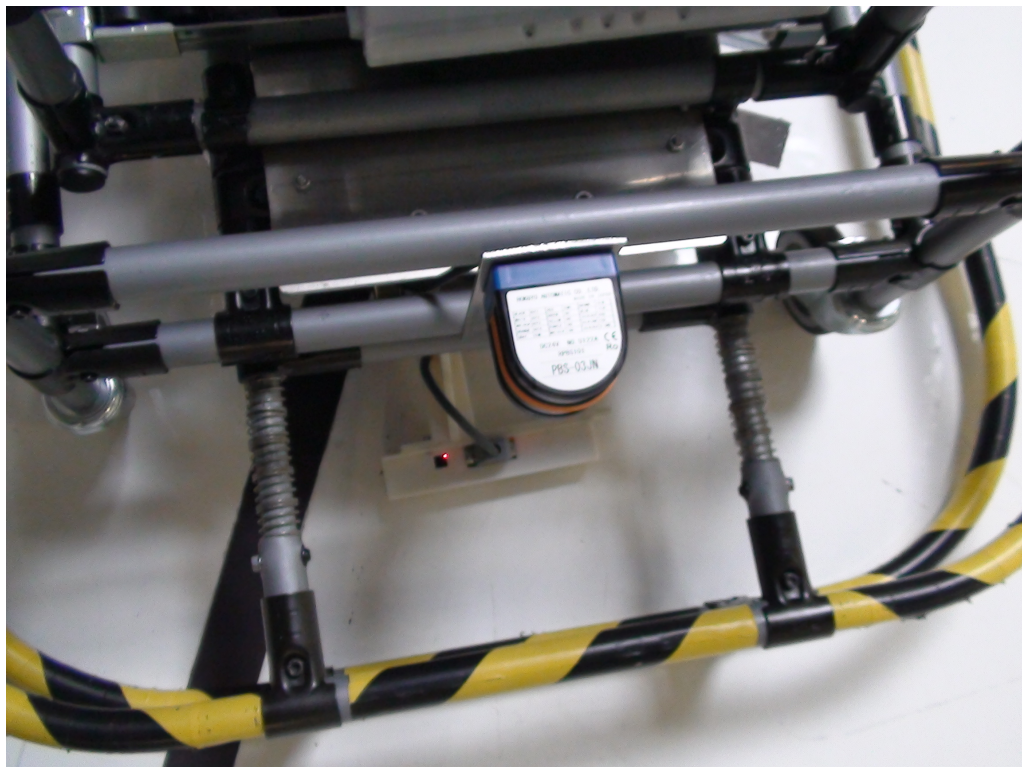


Figura 4.20: Molas do para-choques

#### 4.4.7 Baterias

As baterias utilizadas são de chumbo-ácido de 12V e 85Ah, vulgarmente utilizadas nos carros produzidos na Volkswagen Autoeuropa. A tensão de alimentação do AGV é de 12V, sendo que são usadas 2 baterias de 12V em paralelo. Os AGVs na fábrica, utilizam baterias de lítio. Na figura 4.21 é possível visualizar as referidas baterias e o suporte onde elas se encontram no AGV. O suporte contém ainda uns batentes que fixam as baterias e não deixam que estas deslizem pelos rolamentos.

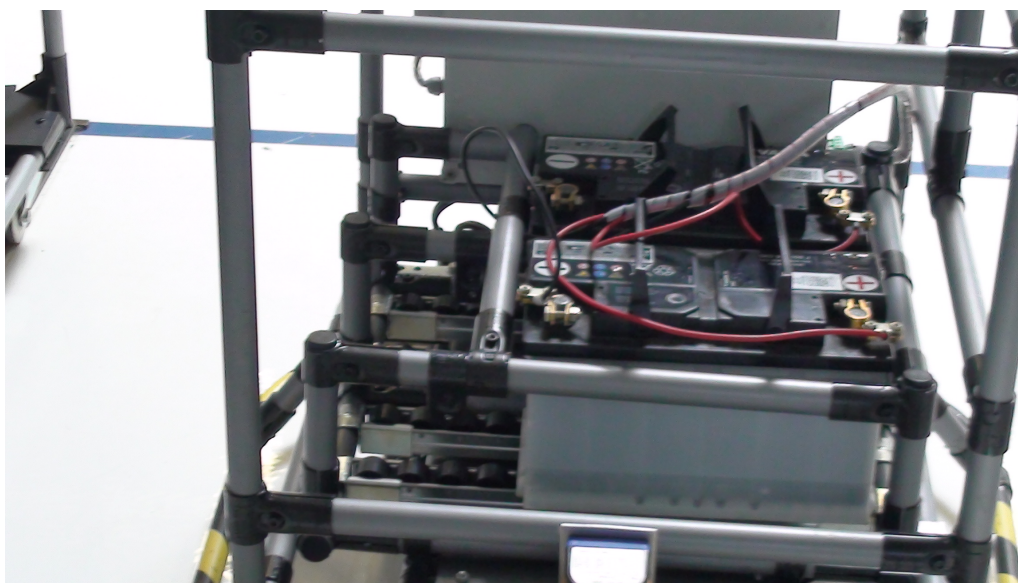


Figura 4.21: Baterias e suporte para as baterias

#### 4.4.8 Controlo Remoto

Inicialmente, não estava projetado existir controlo remoto. Contudo, face às necessidades dos operadores onde nalguns processos a saída do posto de trabalho para dar ordem de arranque não é fácil e para lhes retirar o trabalho da deslocação, a Volkswagen Autoeuropa sugeriu a colocação de um controlo remoto. O AGV pode então ser ordenado quer pela botoneira, quer por comando. De referir que o comando deverá servir para colocar o AGV a andar ou para o mandar parar.

O controlo remoto escolhido pode ser visto na figura 4.22. É um controlo remoto de modulação AM da RF Solutions que comunica por protocolo Keeloq.



Figura 4.22: Controlo remoto

O modo de operação dos relés consiste na lógica "latch", ou seja, um toque no comando para atracar os contatos e um segundo toque para desatracar os contatos.

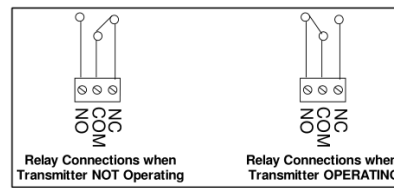


Figura 4.23: Modo de operação dos relés do controlo remoto

## 4.5 Testes de robustez das características do AGV

### 4.5.1 Máxima carga

Todos os AGVs na fábrica têm como função transportar materiais, através do rebocamento de *racks* a eles acopladas. Os AGVs presentes na linha são capazes de puxar até 350kg de carga. O AGV desta dissertação deverá poder puxar qualquer uma das *racks* existentes nas diferentes linhas de produção.

Como tal, foi realizado um teste para garantir que o AGV aguentava com muita carga. Para isso, foi-lhe acoplada uma *rack* com um peso total de 300kg. Os resultados obtidos foram extremamente satisfatórios visto que o AGV funcionou normalmente a puxar essa quantidade de carga, vencendo a força de atrito da carga pesada.

### 4.5.2 Duração das baterias

Os AGVs na Autoeuropa funcionam ininterruptamente durante dois turnos de trabalho. Significa que o AGV desenvolvido deverá funcionar durante 16 horas sem que seja colocado a carregar.

Para isso, foi realizado um teste no AGV para assegurar a duração das baterias. Foi-lhe acoplada uma *rack* de peso total de 160kg. O AGV esteve a puxá-la sem paragens, e reduzindo e aumentando a velocidade, ou seja, não foram utilizados marcadores de paragem e foram utilizados marcadores de mudança de velocidade e de mudança de direção. Ao fim de um turno de funcionamento o AGV foi desligado. No dia seguinte, e sem carregar as baterias, o AGV retomou o teste, perfazendo no total 17 horas a puxar uma carga de 160kg sem ter perdido a fita magnética e lendo todos os marcadores. Mais uma vez, os resultados foram extremamente satisfatórios com o correto e normal funcionamento do AGV.



## Capítulo 5

# Software do AGV

### 5.1 Introdução

Neste capítulo é apresentado o processo de programação do AGV.

Neste projeto foram utilizadas algumas aplicações que já têm sido usadas e desenvolvidas pelo laboratório de robótica do INESC TEC / FEUP na programação dos robôs existentes.

Para ligar o AGV a um computador, utilizou-se uma aplicação desenvolvida em Lazarus-Free Pascal para comunicar por RS485. Esta aplicação, com o nome de 5DPO Flashbus foi desenvolvida pela equipa do laboratório de robótica e serve como meio de comunicação entre o *firmware* e a interface de *debug*.

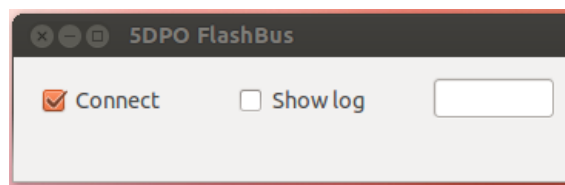


Figura 5.1: Interface da aplicação de comunicação

Outra aplicação utilizada na dissertação é uma Interface de *Debug* criada por elementos da Unidade de Robótica e Sistemas Inteligentes do INESC TEC. Esta interface, também desenvolvida em Lazarus, mostra os dados de todos os constituintes do AGV transmitindo por UDP e utilizando a aplicação descrita anteriormente - a 5DPO FlashBus - para realizar a conexão entre o *firmware* e a interface de *debug*. A figura 5.2 representa a interface de debug alterada de acordo com as necessidades do AGV.

No canto superior direito da figura 5.2 é possível ver um *Radio Group* denominado de RGMo- deControl. Este permite escolher se o AGV estará a ser controlado pelo microprocessador (opção "Line") ou se a interface gráfica controlará o AGV (opção "Debug"). No caso da opção "Line" estar premida, o utilizador tem acesso à informação dos valores das diversas variáveis apresentadas nas *Strings Grids* "Inputs"(zona inferior da figura) e "MagSensor"(parte superior direita da figura).

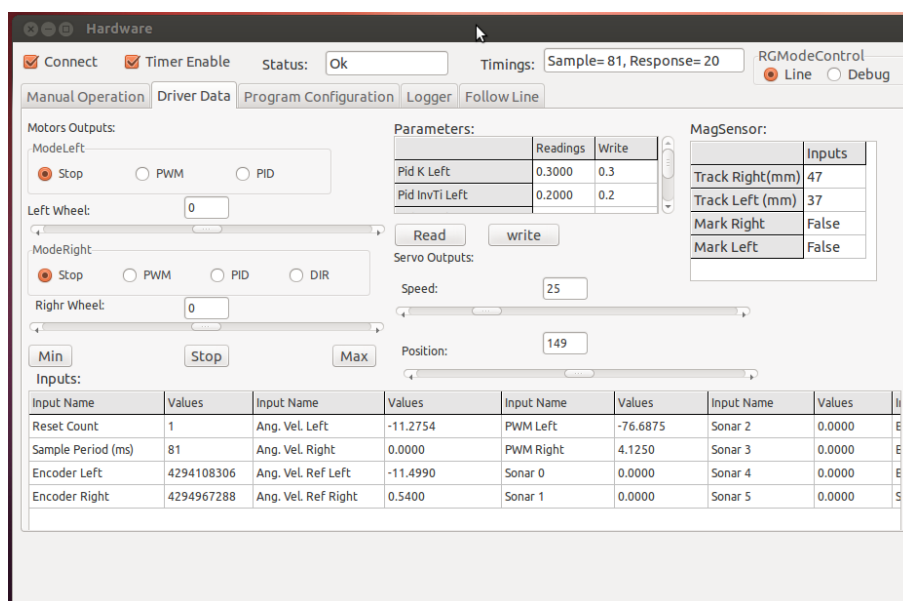


Figura 5.2: Aplicação da Interface de *Debug*

A *String Grid* "Inputs" contém os valores da velocidade dos motores (*motor Left* - motor de tração e *motor Right* - motor de direção), corrente nos motores, *encoders*, estado dos botões de *Start*, *Stop*, *Emergência*, estado do comando do controlo remoto e estado dos fins de curso.

A *String Grid* "MagSensor" apresenta os valores lidos pelo sensor de fita magnética. Tal como descrito na subsecção 4.4.2, o sensor fornece quatro valores: dois valores para a fita de orientação, dados pelo *Track Left* e pelo *Track Right* e dois valores para os marcadores, ou seja, fita de polaridade inversa à fita usada para a orientação, sendo eles o *mark Left* e o *mark Right*. De referir que caso só exista uma fita de orientação, o sensor comporta-se como se as duas *Tracks* estivessem sobrepostas. O valor dado pela *Track* é um inteiro que corresponde à distância da fita ao centro da *Track* correspondente em milímetros. Já os marcadores são apenas valores booleanos, interessando apenas se existe ou não um marcador e se este se encontra à direita ou à esquerda. No caso desta implementação e dos requisitos fornecidos pela Volkswagen Autoeuropa, apenas interessará o valor da *mark Left*.

Se a opção "Debug" do *Radio Group* "RGModeControl" do canto superior direito da figura 5.2 estiver pressionada, o utilizador terá para além de toda a informação disponível semelhante à opção "Line", a possibilidade de controlar ambos os motores do AGV. Para isso, na parte esquerda da interface (figura 5.2) existe um grupo chamado de "Motors Outputs". Estes estão divididos em dois subgrupos: *Mode Left* e *Mode Right*. O *Mode Left* corresponde ao motor de tração e o *Mode Right* corresponde ao motor de direção.

Para colocar o motor de tração a rodar por intermédio da interface de debug, basta seleccionar o tipo de controlo (PWM ou PID) e mover a *Scroll Bar* para a esquerda ou para a direita, consoante a orientação (para a frente ou para trás) pretendida.

Para controlar o motor de direção por intermédio da interface de debug, é necessário escolher

o tipo de controlo (PWM, PID ou DIR) e mover a *Scroll Bar* para a esquerda ou para a direita, consoante a orientação (para a esquerda ou para a direita) pretendida.

Grande parte da aplicação já tinha sido desenvolvida para outros robôs presentes no laboratório. O separador "FollowLine", a função de adquirir a leitura de fita magnética e alguns dos *Inputs* da *String Grid* "Inputs" foram as principais alterações efetuadas. A interface de debug contém ainda a possibilidade de criar gráficos das diversas variáveis de forma a ser mais fácil a visualização do que está a acontecer em tempo real denominado de *Logger*. Os valores lidos pelo sensor de fita magnética foram adicionados ao *logger* existente. Na figura 5.3 é apresentado um exemplo do *logger*.

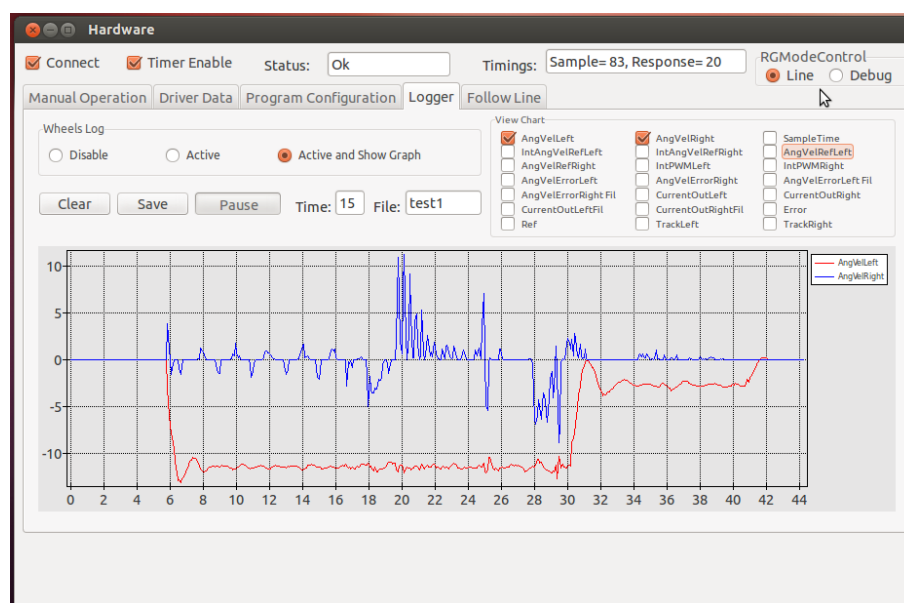


Figura 5.3: *Logger* da Interface de *Debug*

O gráfico a vermelho corresponde ao valor da velocidade angular do motor de tração enquanto que o gráfico a azul representa o valor da velocidade angular do motor de direção. Nota para o facto de que o motor de tração está com valores negativos quando anda para a frente e positivos caso ande para trás.

Observando a figura, constata-se que o AGV foi colocado em marcha em  $t=6s$  e atingiu a velocidade rápida definida. Andou nesta velocidade até  $t=30s$  onde reduziu a velocidade para velocidade lenta por ter encontrado um marcador. Em  $t=42s$  o AGV foi mandado parar.

Relativamente ao motor de direção, constata-se que o AGV iniciou a marcha numa reta, até que em  $t=18s$  tem uma curva para a direita. Em  $t=20s$  surge uma contracurva de maior raio. Por fim, surge novamente uma curva para a direita e termina com uma reta antes de ser mandado parar.



## 5.2 Interface de *Debug*

Inicialmente, a programação da máquina de estados do funcionamento do AGV foi implementada na própria interface, no separador "FollowLine" que pode ser visto na figura 5.4. Esta era a única forma de observar se os valores lidos correspondiam ao comportamento esperado do AGV. O desenvolvimento do código inicial em Lazarus consistiu numa primeira fase no algoritmo de seguimento de fita magnética. Na fase posterior foram sendo incrementadas as funcionalidades do AGV, tais como o marcador de paragem e o marcador de mudança de velocidade.

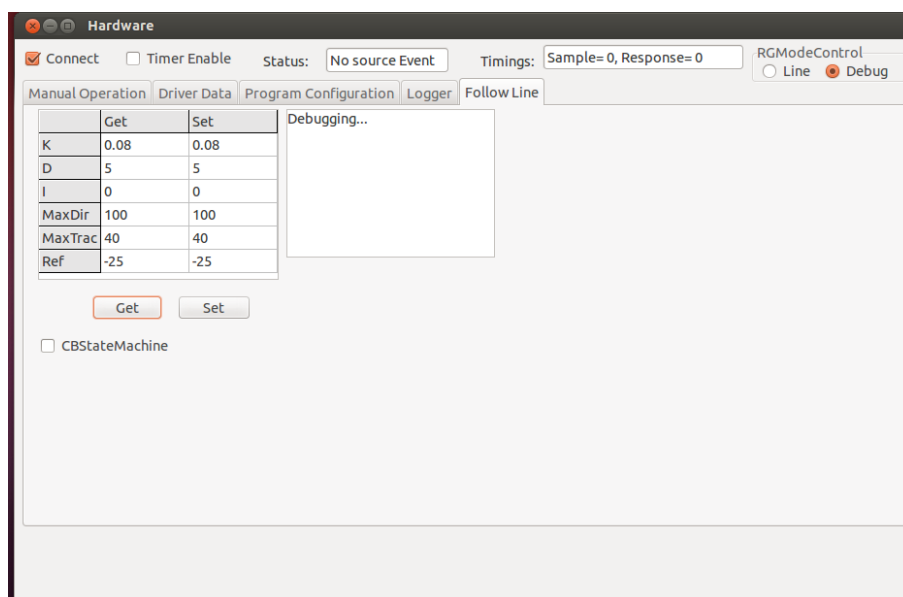


Figura 5.4: Passagem de parâmetros para o seguimento da fita magnética

### 5.2.1 Seguimento de fita magnética - Controlo em Velocidade

O primeiro passo nesta implementação foi conseguir que o AGV seguisse um caminho composto por fita magnética. Para isso, a primeira abordagem resultou no desenvolvimento de um algoritmo para o controlo em velocidade através de um controlador PD.

O algoritmo consistia em calcular a cada ciclo a velocidade angular para a qual o AGV deveria rodar considerando uma referência fixa pré-definida e atendendo aos valores lidos pelo sensor de fita magnética de *Track Left* e *Track Right*. O algoritmo pode ser observado na figura 5.5. Na figura 5.4, pode se visualizar a passagem dos parâmetros para o seguimento da fita, tais como os diferentes ganhos do PD (K e D), o máximo de velocidade na roda de tração (MaxTrac) e na roda de direção em percentagem (MaxDir), e a referência onde o sensor de fita magnética deve estar a seguir a fita.

Devido à existência da leitura de duas *Tracks* pelo sensor, optou-se por comparar a referência com a *Track Left* visto que o AGV deverá seguir o caminho à esquerda em caso de bifurcação.



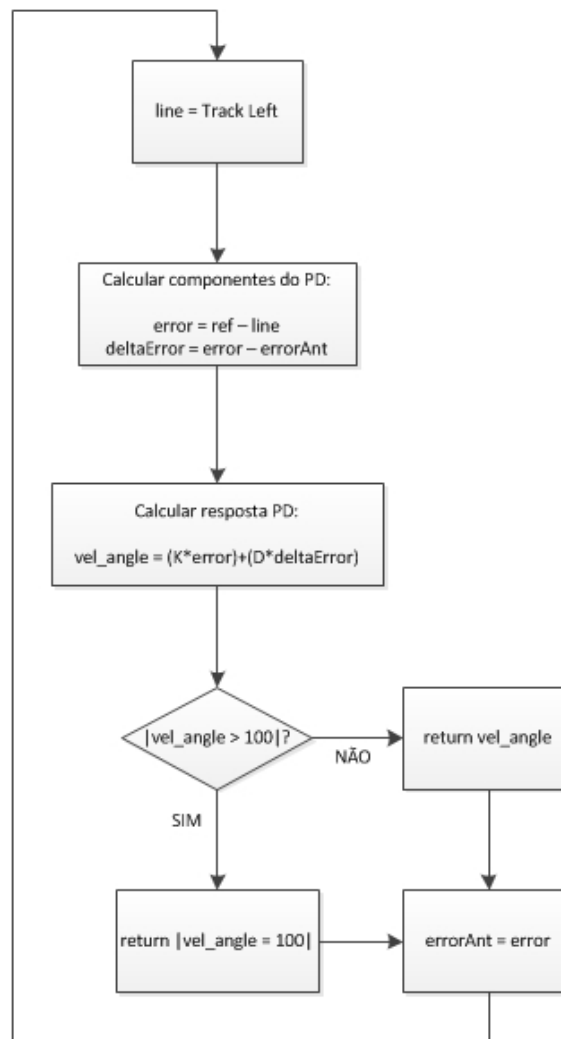


Figura 5.5: Algoritmo do controlador PD - controlo em velocidade angular

Assim, garante-se que, independentemente do valor da *Track Right*, este não têm impacto no algoritmo.

Como tal, em cada ciclo procede-se aos cálculos do erro e da derivada do erro. O erro é obtido pela diferença entre a referência definida pelo utilizador e o presente valor da *Track Left*. A referência pode ter valores positivos ou negativos tal como explanado na subsecção 4.4.2 e permite determinar se o AGV deve seguir o caminho o mais encostado para a direita do sensor (valores positivos) ou o mais encostado para a esquerda (valores negativos). A derivada do erro é composta pela diferença entre o erro atual calculado e o erro do ciclo imediatamente anterior.

De seguida é calculada a atuação do motor de direção através da soma das duas componentes (proporcional e derivativa). O valor obtido é o valor da velocidade angular que é retornada a uma função de controlo PID do motor de direção (função já existente na interface de debug para outros robôs do laboratório de robótica da FEUP). Como tal, o valor retornado é uma percentagem, pois o valor máximo da velocidade do motor está definido nessa função PID do motor. Essa

percentagem do controlador PD do seguimento de fita magnética é multiplicado pelo controlador PID do motor. De notar que esse valor em percentagem pode assumir valores negativos. Se a resposta do controlador PD for +100 significa que o motor de direção vai rodar no sentido dos ponteiros do relógio à velocidade máxima permitida por este, enquanto que se a resposta for -100, o motor rodará no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio também à velocidade máxima.

Os ganhos  $K$  e  $D$  do PD foram calibrados por métodos empíricos com o intuito de seguir o caminho sem grandes oscilações e capaz de realizar curvas apertadas. Os ganhos obtidos que melhor satisfizeram a orientação do AGV sobre a fita magnética podem ser observados na tabela 5.1.

Tabela 5.1: Tabela dos ganhos obtidos para o controlador PD responsável pelo seguimento da fita magnética

Ganhos	Valor
$K$	0.8
$D$	4

### 5.2.2 Marcador de *Stop* e arranque por botão de *Start*

Após o seguimento de um caminho de fita magnética composto por retas e curvas, procedeu-se à implementação das funções dos diferentes marcadores. O marcador de *Stop* utiliza uma fita magnética com um pólo diferente do da fita do caminho. O sensor de fita magnética permite encontrar esse marcador tanto à esquerda como à direita. Os marcadores foram colocados à direita aquando dos testes na FEUP, sendo que na Autoeuropa constatou-se que são utilizados à esquerda. Procedeu-se então ao desenvolvimento da máquina de estados que se encontra na figura 5.6. Esta consistia apenas em dois estados: um estado de parado e um estado de andamento. De referir que o AGV nesta altura ainda só dispunha de uma velocidade.

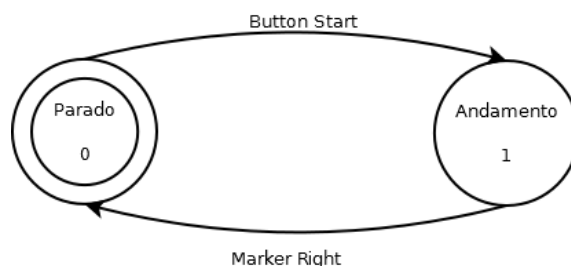


Figura 5.6: Máquina de Estados para o botão de *Start* e paragem no marcador de *Stop*

O AGV começa parado. Após ordem de arranque dada pelo botão de *Go/Start*, o AGV inicia a marcha, parando após a deteção de um marcador de paragem junto à fita.

Após a primeira fase de testes para confirmar a correta leitura e escrita dos valores para o funcionamento do AGV, o *Firmware* foi desenvolvido na IDE Eclipse.

## 5.3 Firmware final do AGV

### 5.3.1 Introdução

O *Firmware* do AGV é programado no ambiente de desenvolvimento (IDE) do software Eclipse utilizando a linguagem C. Tal como a interface de debug, o *Firmware* também já tinha sido desenvolvido para outros robôs presentes no laboratório. A versão do *Firmware* do AGV desenvolvida contém ainda a função de adquirir a leitura de fita magnética, o código respeitante aos *Inputs* e *Outputs* e a máquina de estados implementada.

A figura 5.7 representa o programador AVRISP mkII da Atmel utilizado para fazer a passagem do código desenvolvido em Eclipse para o microprocessador ATXMEGA.



Figura 5.7: Programador da Atmel AVRISPMkII

### 5.3.2 Passagem da Interface de *Debug* para o *Firmware*

Com o seguimento de fita magnética validado pela interface de *debug*, procedeu-se à passagem desse código para o *Firmware*. Foi criado o ficheiro StateMachineStruct.c onde foi desenvolvido grande parte das alterações ao *Firmware* existente.

Criou-se uma função que retorna o valor da velocidade angular do motor de direção dado pelo controlador PD, tal como na subsecção 5.2.1. Esta função (calculatePID()) é chamada ciclicamente para o seguimento da fita magnética. Em baixo, encontra-se um excerto do código realizado para o cálculo do PD para o seguimento da fita magnética. A função resetControl() é a função responsável pela inicialização dos parâmetros do PD e das percentagens das velocidades máximas para os motores de tração e de direção. A função initializePID() que se encontra na linha 28, inicializa o valor do erro anterior, necessário para o cálculo da componente derivativa.

```

11
12 double calculatePID(void) {
13     double line, vel_angle;
14     line=followLineStateMachine.FtrackLeft;
15     followLineStateMachine.Ferror=followLineStateMachine.Fref-line;
16     followLineStateMachine.FdeltaError=followLineStateMachine.Ferror-
17     followLineStateMachine.FerrorAnt;
18     followLineStateMachine.FerrorAnt=followLineStateMachine.Ferror;
19     followLineStateMachine.Fsum=followLineStateMachine.Fsum+
20     followLineStateMachine.Ferror;

```

```

9      vel_angle=(followLineStateMachine.FK*followLineStateMachine.Ferror)+(
followLineStateMachine.FI*followLineStateMachine.Fsum)+(
followLineStateMachine.FD*followLineStateMachine.FdeltaError);
10     if (vel_angle > followLineStateMachine.FMaxDir)
11     {
12         vel_angle=followLineStateMachine.FMaxDir;
13     }
14     if (vel_angle < -followLineStateMachine.FMaxDir)
15     {
16         vel_angle=-followLineStateMachine.FMaxDir;
17     }
18     return vel_angle;
19 }

21 void resetControl(void) {
22     followLineStateMachine.FK=0.8;
23     followLineStateMachine.FD=4;
24     followLineStateMachine.FI=0;
25     followLineStateMachine.FMaxTrac=50;
26     followLineStateMachine.FMaxDir=100;
27     followLineStateMachine.Fref=40;
28     initializePID();
29 }

```

### 5.3.3 Detecção de marcadores da mesma polaridade da fita magnética

Na Volkswagen Autoeuropa, os marcadores encontram-se colocados no lado esquerdo da fita. Na FEUP, o *Firmware* previa os marcadores à direita da fita. Como há marcadores da mesma polaridade da fita de orientação é impossível para o sensor de fita magnética distinguir uma *Track* de um marcador da mesma polaridade de fita magnética. Para garantir que o AGV siga o caminho da esquerda numa bifurcação, o algoritmo do cálculo da velocidade angular do motor de direção (visto na subsecção 5.2.1) utiliza o *Track Left* no cálculo do erro. No caso de surgir um marcador é necessário que a *Track* utilizada para o cálculo do erro do algoritmo da velocidade angular do motor de direção seja a *Track Right*. A figura 5.8 representa o conceito que foi utilizado no código. Como se pode ver, antes de o sensor detetar um marcador (situação 1 da figura), o AGV segue como referência o valor dado pela *Track Left*. Assim se garante que no caso de haver uma bifurcação, o AGV seguirá o caminho da esquerda. Logo após a deteção do marcador (situação 2 da figura), o AGV não pode ter como referência o valor dado pela *Track Left* senão o AGV iria seguir o marcador, assumindo este como fita. Durante toda a passagem do marcador, o AGV vai ter como referência o valor da *Track Right* como demonstrado na situação 3 da figura 5.8. Após essa passagem, o AGV regressa à normalidade seguindo como referência a *Track Left* (situação 4 da figura).

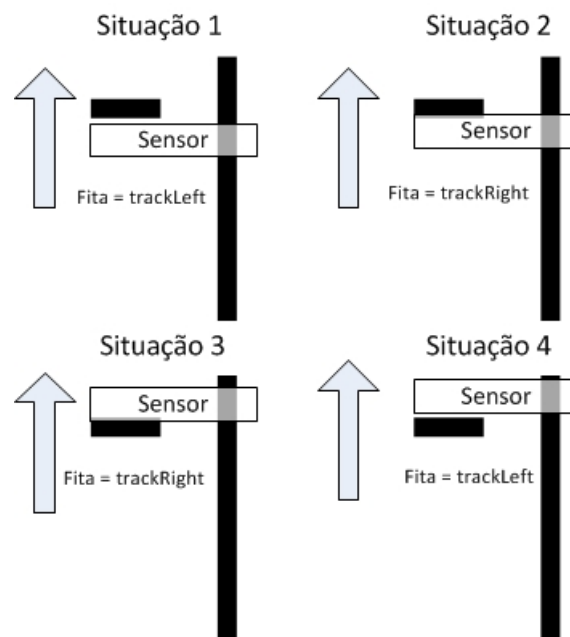


Figura 5.8: Detecção do marcador da mesma polaridade da fita de orientação

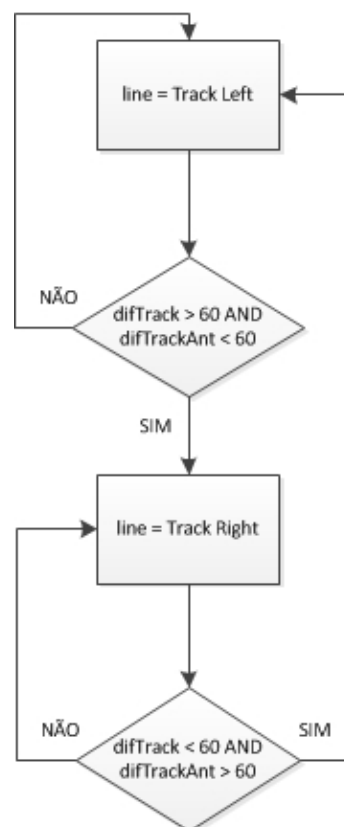


Figura 5.9: Algoritmo de detecção de marcador da mesma polaridade da fita de orientação

Um marcador da mesma polaridade da *Track* é detetado através da comparação entre os valores da *Track Right* e da *Track Left*. Ciclicamente, é calculada a diferença entre a *Track Left* e a *Track Right*. No caso de existir apenas uma fita, esta diferença é da ordem das 15-20 unidades. No caso de existir uma bifurcação, ou de o sensor não estar perfeitamente perpendicular relativamente à fita, a diferença poderá ser um pouco maior. Caso a altura do sensor em relação à fita aumentar, a diferença também aumenta.

A colocação de um marcador exige que este esteja alguns centímetros (entre 3-8 cm) afastado da fita. Esta condição garante que a diferença entre as *Tracks* será sempre maior que 60 unidades. A figura 5.9 apresenta o modo de funcionamento do algoritmo para detetar um marcador. Por defeito, o AGV utiliza o *Track Left* nos cálculos para seguir a fita. Ciclicamente, lê os valores da *Track Left* e da *Track Right*. Calcula a diferença entre eles e compara essa diferença com a diferença do ciclo imediatamente anterior. Se ocorrer um *rising edge* da *difTrack*, o AGV está a entrar na situação 2 da figura 5.8. Quando ocorre o *falling edge* da *difTrack*, o AGV está a sair da situação 3 e a entrar na situação 4 da figura. Após o *falling edge*, o AGV passou um marcador.

### 5.3.4 Máquina de Estados

Na figura 5.10 é possível visualizar o conceito da máquina de estados implementada. Para reduzir o tamanho da figura e melhor compreensão da mesma, o estado 3 - "parado por laser" e o estado 6 - "parado por comando ou por botão" não surgem na figura. As transições destes para os outros estados, e vice-versa, respeitam sempre as mesmas condições e serão apresentados mais adiante no documento, mais concretamente na figura 5.11.

Na figura 5.11 está representada a máquina de estados para o exemplo do estado "rápido" e todas as possíveis transições de paragem, quer seja por atuação do laser de segurança, ou por ordem dada por comando ou botão de *Stop*. De referir que os outros estados presentes na figura 5.10 têm também as mesmas transições para estes estados de paragem, não sendo apenas colocados todos na mesma figura devido à enorme quantidade de transições e consequente dificuldade e complexidade em compreender toda a máquina de estados.

#### 5.3.4.1 Estado Parado

É o estado inicial. Corresponde também à situação em que o AGV acabou de detetar um marcador de paragem. O AGV fica à espera de ordem de arranque que pode ser dada quer pelo comando remoto, quer pelo botão de *Start*. Quando a ordem de arranque é dada, o besouro apita durante 0,5 segundos.

#### 5.3.4.2 Estado Rápido

Após a ordem de arranque inicial ou após um marcador de paragem, o AGV inicia o movimento com velocidade rápida.

Caso detete um marcador de paragem volta para o estado "parado".

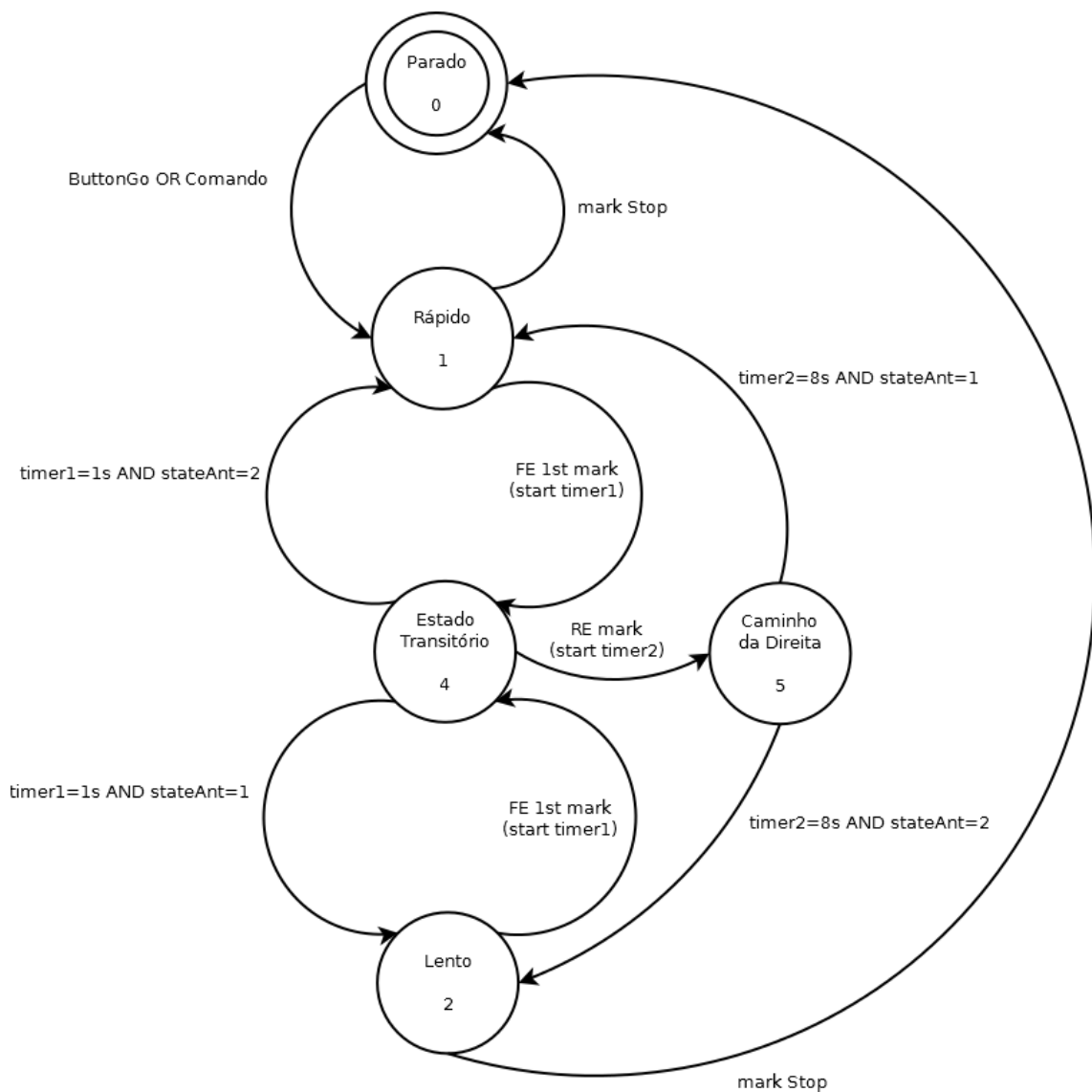


Figura 5.10: Máquina de Estados simplificada do funcionamento normal do AGV

Se o laser detetar um obstáculo, este estado é gravado na memória e o AGV vai para o estado "parado por laser"(figura 5.11), regressando a este estado quando o laser deixar de detetar obstáculos.

Se o comando remoto ou o botão de *Stop* forem atuados, este estado é gravado na memória e o AGV vai para o estado "parado por comando ou botão"(figura 5.11), regressando a este estado quando o comando remoto ou o botão de *Start* forem pressionados.

Se o sensor de fita magnética passa por um marcador da mesma polaridade da fita magnética, o AGV segue para o "estado transitório" e grava este estado na memória.

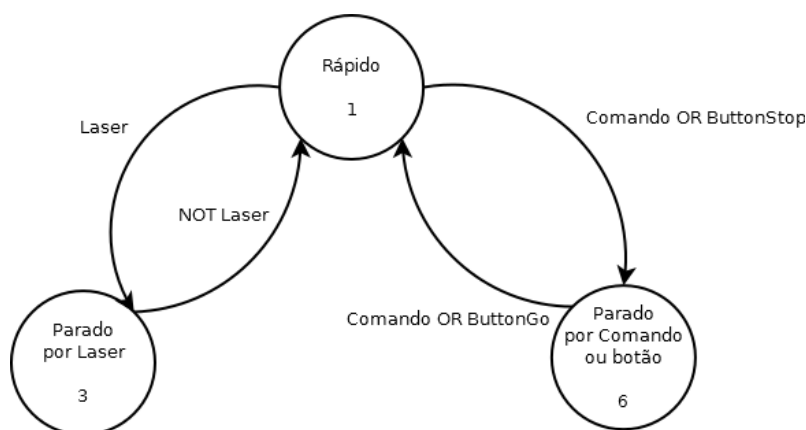


Figura 5.11: Máquina de Estados do funcionamento das paragens do AGV

### 5.3.4.3 Estado Lento

Se o AGV se encontra no estado lento e deteta um marcador de paragem, o AGV vai para o estado "parado".

Se o laser detetar um obstáculo, este estado é gravado na memória e o AGV vai para o estado "parado por laser"(figura 5.11), regressando a este estado quando o laser deixar de detetar obstáculos.

Se o comando remoto ou o botão de *Stop* forem atuados, este estado é gravado na memória e o AGV vai para o estado "parado por comando ou botão"(figura 5.11), regressando a este estado quando o comando remoto ou o botão de *Start* forem pressionados.

Se o sensor de fita magnética passa por um marcador da mesma polaridade da fita magnética, o AGV segue para o "estado transitório" e grava este estado na memória.

### 5.3.4.4 Estado Transitório

O "estado transitório" acontece quando o AGV passa por um marcador da mesma polaridade da fita magnética. Como tal, é necessário saber se esse é um marcador isolado e como tal o AGV deve mudar a velocidade, ou se vai surgir um novo marcador e o AGV deverá manter a mesma velocidade e seguir o caminho da na próxima bifurcação.

Assim que o AGV entra no "estado transitório" é iniciado um *timer* de 1 segundo. Se durante esse tempo, o AGV não encontra um novo marcador da mesma polaridade da fita magnética, o AGV deverá mudar de velocidade. Se o estado anterior gravado na memória era o estado "rápido", o AGV vai para o estado "lento". Se o estado anterior gravado na memória era o estado "lento", o AGV vai para o estado "rápido".

Se antes do *timer* atingir o limite de 1 segundo e o sensor de fita magnética ler outro marcador da mesma polaridade da fita magnética, o AGV deverá seguir o caminho da direita na próxima



bifurcação. Assim sendo, o AGV vai para o estado "caminho da direita" mantendo a mesma velocidade. De referir que mantém na memória gravado o estado de onde veio (estado "rápido" ou estado "lento").

Se o laser detetar um obstáculo, o "estado transitório" é gravado na memória e o AGV vai para o estado "parado por laser" (figura 5.11), regressando ao "estado transitório" quando o laser deixar de detetar obstáculos. De referir que enquanto o AGV está parado, o *timer* não está a contar. O *timer* encontra-se parado quando sai para o estado "parado por laser" e retoma o valor onde se encontrava quando volta a entrar no "estado transitório".

Se o comando remoto ou o botão de *Stop* forem atuados, o "estado transitório" é gravado na memória e o AGV vai para o estado "parado por comando ou botão" (figura 5.11), regressando ao "estado transitório" quando o comando remoto ou o botão de *Start* forem pressionados. De referir que enquanto o AGV está parado, o *timer* não está a contar. O *timer* encontra-se parado quando sai para o estado "parado por comando ou botão" e retoma o valor onde se encontrava quando volta a entrar no "estado transitório".

#### 5.3.4.5 Estado Caminho da Direita

Quando o AGV passa por um duplo marcador da mesma polaridade da fita magnética, o AGV deve seguir o caminho da direita na próxima bifurcação. Assim que o AGV entra no estado "caminho da direita" é iniciado um *timer* de 8 segundos. Durante esse tempo o AGV segue o caminho da direita do mesmo modo visto na subsecção 5.3.3, isto é, colocando como referência a *Track Right* para o seguimento de fita magnética.

Após o tempo esgotar, o AGV regressa ao estado anterior gravado na memória (estado "rápido" ou estado "lento"), seguindo o caminho da esquerda como é previsto acontecer por defeito.

Se o laser detetar um obstáculo, o "estado caminho da direita" é gravado na memória e o AGV vai para o estado "parado por laser" (figura 5.11), regressando ao "estado caminho da direita" quando o laser deixar de detetar obstáculos. De referir que enquanto o AGV está parado, o *timer* não está a contar. O *timer* encontra-se parado quando sai para o estado "parado por laser" e retoma o valor onde se encontrava quando volta a entrar no "estado caminho da direita".

Se o comando remoto ou o botão de *Stop* forem atuados, o "estado caminho da direita" é gravado na memória e o AGV vai para o estado "parado por comando ou botão" (figura 5.11), regressando ao "estado caminho da direita" quando o comando remoto ou o botão de *Start* forem pressionados. De referir que enquanto o AGV está parado, o *timer* não está a contar. O *timer* encontra-se parado quando sai para o estado "parado por comando ou botão" e retoma o valor onde se encontrava quando volta a entrar no "estado caminho da direita".

#### 5.3.4.6 Estado Parado por Laser

Quando o laser deteta um obstáculo, o AGV grava o estado onde está atualmente e entra no estado "parado por laser". O AGV permanece neste estado até que o laser deixe de detetar qualquer obstáculo e o AGV entra no estado gravado anteriormente.

#### **5.3.4.7 Estado Parado por Comando ou Botão de *Stop***

Quando o comando remoto ou o botão de *stop* são pressionados, o AGV grava o estado onde está atualmente e entra no estado "parado por comando ou botão de *stop*". O AGV permanece neste estado até que o comando remoto ou o botão de *Start* sejam premidos e o AGV entra no estado gravado anteriormente.

O valor lógico da entrada do comando remoto é irrelevante, sendo apenas importante a alteração do valor lógico de 1 para 0 ou de 0 para 1. Esta alteração significa que o comando remoto foi premido, pois o comando quando é premido muda o valor lógico e só volta a mudar da próxima vez que for premido. Quando a ordem de arranque é dada, o biscoito apita durante 0,5 segundos.

## Capítulo 6

# Conclusões e Trabalho Futuro

Nesta dissertação desenvolveu-se um AGV de baixo custo para transportar materiais para as linhas de produção da Volkswagen Autoeuropa.

Este protótipo foi testado em diferentes rotas existentes na fábrica, executando as tarefas que lhe eram exigidas e transportando diversas racks para a produção dos vários modelos da fábrica.

Concluiu-se ser possível realizar uma alternativa aos AGVs existentes capaz de ser facilmente reconfigurável e adaptável às necessidades.

O AGV também passou nos testes de robustez submetidos, nomeadamente na duração do funcionamento contínuo de dois turnos (16 horas) antes de ser colocado a carregar. Paralelamente, foi capaz de puxar carga de 300kg, carga acima das necessidades na linha.

Tratando-se esta dissertação do desenvolvimento de um protótipo de um AGV, existem alguns trabalhos futuros possíveis de desenvolver e melhorar a solução.

Constatou-se que a localização da caixa de processamento deverá ser passada para um local de fácil acesso, pois no caso de se pretender aceder à referida caixa para realizar qualquer tipo de trabalho, o AGV tem que ser virado ao contrário, o que obriga a retirar baterias e mais do que uma pessoa para o virar. Esta solução torna-se inviável pois exige que um trabalho que possa demorar apenas 1 minuto como uma simples troca de fusível, demore muito mais. Um dos locais possíveis para a localização da caixa poderá ser à frente do AGV.

Sugriu-se também que o AGV disponha de um indicador de carga das baterias. Este dispositivo permitirá saber qual o estado da carga das baterias para proceder a uma troca rápida de baterias e/ou a um carregamento das mesmas.

Também no respeitante às baterias, poderá ser vantajosa a utilização de baterias de lítio devido a sua maior capacidade quando comparadas com as de chumbo-ácido. A grande maioria dos AGVs nas linhas de produção já utilizam essas mesmas baterias. Devido à necessidade de standardização dos AGVs, poderá então ser vantajoso que o processo de carregamento de baterias também seja standard e, como tal, a utilização de baterias de lítio poderá ser benéfica.

Existe ainda a possibilidade de utilizar as funcionalidades do laser no que respeita ao número de áreas de deteção para melhorar o comportamento do AGV relativamente a questões de segurança. Poderão ser utilizadas duas das três áreas de deteção disponíveis no laser. A primeira com

um alcance menor. Nesta área, o AGV deverá parar. E a segunda de alcance maior onde o AGV deverá reduzir a velocidade para a velocidade lenta.

Por fim, e também devido a regras de segurança, a sinalização luminosa deverá se encontrar mais elevada, para mais facilmente ser vista por todos.

# Referências

- [1] Keith Soderlund. Frame of reference. *Material Handling Management*, 65(5):30 – 31, 2010.
- [2] Transbotics. Transbotics, Fevereiro 2013. URL: <http://www.transbotics.com/index.htm>.
- [3] David Da Silva Lima. Localização absoluta de robôs móveis em ambientes industriais. Tese de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.
- [4] Rui Paulo Pinto da Rocha. Desenvolvimento de um sistema de gestão de agvs. Tese de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1998.
- [5] Rui Paulo Rocha. Estado da arte da robótica móvel em portugal. Tese de mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2001.
- [6] Roberto José Magalhães da Silva. Localização de agvs industriais baseada em marcadores. Tese de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.
- [7] T. Ganesharajah, N.G. Hall, e C. Sriskandarajah. Design and operational issues in agv-served manufacturing systems. *Annals of Operations Research*, 76:109 – 54, 1998. URL: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1018936219150>.
- [8] Creform. Creform fts. Documentação de apresentação do AGV da Creform. URL: <http://www.creform.de/en/produkte/agv/general/>.
- [9] Meidensha Corporation. Automated guided vehicle kit - mcat - meiden carry kit. Documentação de apresentação do MCAT da Meiden. URL: <http://agv.meidensha.co.jp/english/index.html>.
- [10] Creform. Operation manual agv-a32 ex. Version 08/2009.
- [11] Trilogiq. Agv move. Documentação de apresentação do AGV Move da Trilogiq. URL: <http://www.trilogiq.com/en/move/index.php>.
- [12] Advance build, Junho 2013. URL: <http://www.advancebuild.pt>.
- [13] Meidensha Corporation. Mcat price breakdown. Maio de 2012.
- [14] Pilz GmbH. Pnoz x5 datasheet. Datasheet do relé de segurança PNOZ X5.